(19) BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENT- UND MARKENAMT

(12) **Offenlegungsschrift**

(10) **DE 101 09 929 A 1**

(51) Int. Cl.[7]:
G 01 J 3/24
G 01 J 9/04
G 01 N 21/45
G 02 B 5/18

(21) Aktenzeichen: 101 09 929.0
(22) Anmeldetag: 22. 2. 2001
(43) Offenlegungstag: 22. 11. 2001

DE 101 09 929 A 1

(66) Innere Priorität:
100 08 181. 9 23. 02. 2000

(71) Anmelder:
Carl Zeiss, 73447 Oberkochen, DE

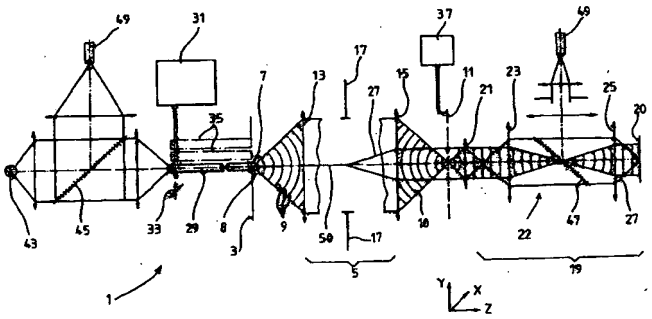
(74) Vertreter:
Patentanwälte Ruff, Wilhelm, Beier, Dauster & Partner, 70174 Stuttgart

(72) Erfinder:
Wegmann, Ulrich, 89551 Königsbronn, DE; Haidner, Helmut, 73430 Aalen, DE; Schriever, Martin, Dr., 73431 Aalen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Vorrichtung zur Wellenfronterfassung

(57) Bei einer Vorrichtung (1) zur Wellenfronterfassung mit einer Wellenfrontquelle (7) zur Erzeugung einer Wellenfront (9), einem die Wellenfront (9) umformenden optischen System (5), einem von der umgeformten Wellenfront (10) durchsetzten Beugungsgitter (11) und einem dem Beugungsgitter (11) nachgeordneten ortsauflösenden Detektor (19) weist die Wellenfrontquelle (7) eine zweidimensionale Struktur auf.



DE 101 09 929 A 1

BNSDOCID: <DE__10109929A1_I_>

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Erfassung von Wellenfronten elektromagnetischer Strahlung, insbesondere sichtbaren und ultravioletten Lichts und weicher Röntgenstrahlung, nach dem Oberbegriff von Anspruch 1 sowie ein Verfahren zur Wellenfronterfassung nach dem Oberbegriff von Anspruch 57 und einen Stepper oder Scanner zur Mikrolithografie mit einer derartigen gattungsgemäßen Vorrichtung zur Wellenfronterfassung.

[0002] Eine gattungsgemäße Vorrichtung zur Wellenfronterfassung ist aus "Phase measuring Ronchi test" von Katsuyuki Omura et al. (Seiten 523–528 in APPLIED OPTICS/ Vol. 27, No. 3/Februar 1988) bekannt. Bei dieser bekannten Vorrichtung, welche zur Prüfung der Abbildungsqualität einer Testlinse verwendet wird, erzeugt eine monochromatische Punktlichtquelle eines He-Ne-Lasers eine Wellenfront, welche einen Kollimator und eine Testlinse durchsetzt und danach auf ein als Ronchi-Gitter bezeichnetes Beugungsgitter auftrifft. Der Kollimator formt die von der Punktlichtquelle ausgehende Wellenfront in eine auf die Testlinse auftreffende Planwelle um, wobei das Beugungsgitter in der bildseitigen Fokusebene der Testlinse liegt. Das vom Ronchi-Gitter erzeugte Beugungsmuster bzw. Interferogramm wird von einem eine TV-Kamera umfassenden ortsauflösenden Detektor aufgenommen und darauf zur Erfassung der das optische System verlassenden Wellenfront ausgewertet.

[0003] Auch die DD 0 154 239 offenbart eine als Shearing-Interferometer bezeichnete gattungsgemäße Vorrichtung zur Wellenfronterfassung für die interferometrische Prüfung von Objektiven. Bei dieser Vorrichtung zur Wellenfronterfassung liegt das Beugungsgitter außerhalb der Fokusebene des Prüflingsobjektivs.

[0004] In der DE 195 38 747 A1 ist ein gattungsgemäßes Gittershearinterferometer zur Wellenfronterfassung beschrieben, bei der das Licht einer zu untersuchenden Planwelle auf zwei hintereinandergeschaltete Phasengitter fällt und zur Wellenfrontanalyse dann von einer CCD-Kamera erfaßt wird.

[0005] Aus dem Aufsatz "Evaluation of Large Aberrations Using a Lateral-Shear Interferometer Having Variable Shear" von M. P. Rimmer et al. in APPLIED OPTICS/Vol. 14, No. 1/Januar 1975/Seiten 142–150 ist eine weitere Vorrichtung zur Wellenfronterfassung nach dem Oberbegriff von Anspruch 1 bekannt. Das zwischen Wellenfrontquelle und Beugungsgitter geschaltete optische System ist in diesem Fall ein gekrümmter Spiegel.

[0006] J. E. Pearson et al. haben in APPLIED OPTICS AND OPTICAL ENGINEERING, Vol. VII, Academic Press. Inc., 1979, Kapitel 8 "Adaptive Optical Techniques for Wave-Front Correction" auf adaptive Optiken mit Scherinterferometern als Wellenfrontsensoren und auf die Photolithografie als mögliches Anwendungsfeld dafür hingewiesen.

[0007] Der Aufsatz "Dynamic range of Ronchi test with a phase-shifted sinusoidal grating" von K. Hibino et al. in APPLIED OPTICS/ Vol. 36, No. 25/ September 1997/Seiten 6178–6189 beschreibt eine gattungsgemäße Vorrichtung zur Wellenfronterfassung, bei der eine Testlinse eine monochromatische ebene Welle umformt und auf ein als Sinus-Transmissionsgitter ausgebildetes Beugungsgitter lenkt. Die von dem Beugungsgitter gebeugten Wellenfronten werden von einer Abbildungslinse kollimiert und bilden auf einer in der Fokusebene der Abbildungslinse angeordneten, rotierenden Mattscheibe ein Scherinterferogramm, welches von einem CCD-Detektor erfaßt und dann zur Prüfung der Testlinse ausgewertet wird.

[0008] Aufgabe der Erfindung ist es, eine verbesserte gattungsgemäße Vorrichtung zur Wellenfronterfassung bereitzustellen.

[0009] Diese Aufgabe wird durch die Merkmale in Anspruch 1 gelöst. Denn durch die zweidimensionale Struktur der Wellenfrontquelle kann die räumliche Kohärenz der Strahlung so angepaßt werden, daß die von dem optischen System umgeformten Wellenfronten hochgenau gemessen werden können.

[0010] Erfindungsgemäß kann dies mit der Betriebslichtquelle bei der Betriebswellenlänge des optischen Systems erfolgen. Die Vorrichtung zur Wellenfronterfassung nach der Erfindung ist sowohl für kohärente als auch für inkohärente Strahlung vom Infrarot- bis in den Röntgenbereich geeignet. Bereits bei Verwendung konventioneller CCD-Kameratechnik für den ortsauflösenden Detektor ist ein großer Spektralbereich zugänglich. Bei extrem kurzen Wellenlängen kann z. B. aber auch ein Photoemissions-Elektronenmikroskop (PEEM) als ortsauflösender Detektor eingesetzt werden. Der ortsauflösende Detektor kann auch einen in CMOS-Technik aufgebauten Sensor aufweisen, der sich durch geringe Leistungsaufnahme auszeichnet und die Integration eines Digital-Analog-Wandlers am Detektor ermöglicht. Auch ein Sensor mit CID (Charge Injection Device)-Technik ist möglich.

[0011] Abweichend vom zitierten Stand der Technik ist es erfindungsgemäß auch nicht erforderlich, das zu testende optische System, z. B. durch Vorschaltung eines Kollimators, mit einer Planwelle zu bestrahlen.

[0012] Für sehr kurze Wellenlängen bis in den Röntgenbereich hinein kann es dabei günstig sein, die Wellenfrontquelle als reflektierendes Element, z. B. als Reflexionsmaske, auszubilden.

[0013] Bei einer vorteilhaften Ausführungsform umfaßt die Wellenfrontquelle eine Lochmaske, wodurch die zweidimensionale Struktur der Wellenfrontquelle hohen Kontrast aufweist. Eine derartige Lochmaske kann insbesondere eine Mehrzahl in vierzähliger oder dreizähliger Symmetrie angeordneter Öffnungen aufweisen.

[0014] Dabei kann die Lochmaske zwischen einer Austrittsfläche eines Lichtleiters und dem optischen System angeordnet sein. Insbesondere dann, wenn die Lochmaske mit dem Lichtleiter verbunden ist, erhält man eine kompakte Wellenfrontquelle hoher Leuchtdichte.

[0015] Wenn die Lochmaske in einer Objektebene und das Beugungsgitter in einer zur Objektebene konjugierten Bildebene liegt, kann die Wellenfront bei der Endlich-Endlich-Abbildung des optischen Systems unter Einhaltung der exakten Schnittweite des optischen Systems gemessen werden. Damit kann die Qualität eines optischen Systems in seinem spezifischen Einsatzbereich geprüft werden. Da dies ohne Einbringung zusätzlicher Bauteile, z. B. von Kollimatorlinsen, in den Strahlengang des optischen Systems zwischen Objekt und Bild möglich ist, kann durch die Erfindung auf die Kalibrierung derartiger zusätzlicher Bauteile verzichtet werden.

[0016] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist einer Lichtleiter-Lochmasken-Kombination ein Verschiebungsmodul zugeordnet, welches die Lochmaske zusammen mit der Austrittsfläche des Lichtleiters in der Objektebene verschiebt. Durch die derart mögliche Verschiebung der Wellenfrontquelle kann die Abbildungsqualität des optischen Systems für ein großes Abbildungsfeld gemessen werden.

[0017] Der Lichtleiter kann ein Multimode-Lichtleiter sein, um die Abbildungsqualität des optischen Systems auch bei Verwendung von Weißlicht, d. h. eines Wellenlängengemischs, oder von Multimode-Lasern kurzer Kohärenzlänge (einige 10 μm) prüfen zu können. Selbstverständlich ist un-

BNSDOCID: <DE__10109929A1_I_>

ter Lichtleiter ein über den sichtbaren Spektralbereich der elektromagnetischen Strahlung hinaus geeigneter Strahlungsleiter gemeint.

[0018] Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist das Beugungsgitter in Abhängigkeit von der Struktur der Wellenfrontquelle derart ausgebildet, daß zur Interferenz am Beugungsgitter nur bestimmte Beugungsordnungen beitragen.

[0019] Unabhängig davon kann das Beugungsgitter ein Phasengitter oder ein Amplitudengitter oder von jedem anderen geeigneten Beugungsgittertyp sein, z. B. ein durch Dithering erzeugtes Grauwertgitter oder auch ein reflektierendes Gitter, welches sich insbesondere für sehr kurze Wellenlängen anbietet.

[0020] Einer anderen Ausführungsform gemäß weist das Beugungsgitter jeweils eine beugende periodische Struktur für unterschiedliche Richtungen auf. Dadurch können aus einem einzigen, von dem ortsauflösenden Detektor aufgenommenen Interferogramm Phasengradienten in mehr als einer Richtung bestimmt werden.

[0021] Dabei ist es besonders vorteilhaft, wenn diese Richtungen orthogonal zueinander sind, wie z. B. bei einem als Schachbrettgitter oder Kreuzgitter ausgebildeten Beugungsgitter. Denn dadurch wird die im Sinne der Theorie des lateralen Shearinginterferometers durch das Beugungsgitter verursachte Scherung simultan in X- und Y-Richtung erzeugt.

[0022] Es kann das Beugungsgitter aber auch Winkel von z. B. 45°, 60° oder 120° einschließende Periodizitätsrichtungen aufweisen. Bei einem als Dreiecksgitter mit jeweils paarweise einen Winkel von 120° einschließenden Periodizitätsrichtungen ausgebildeten Beugungsgitter oder einem Dreiecksgitter mit 45° und 90°, d. h. mit gleichschenkligen und rechtwinkligen Dreiecken ergeben sich mehr als zwei Periodizitäts- bzw. Verschiebungsrichtungen. Die daraus resultierende Redundanz kann durch Ausgleichsrechnung zur Erhöhung der Meßgenauigkeit genutzt werden.

[0023] Derartige Beugungsgitter mit mehreren Periodizitätsrichtungen, z. B. in X- und Y-Richtung periodische Sinusgitter, können im Hinblick auf die Unterdrückung unerwünschter Beugungsordnungen und auf ihre Herstellung geeigneterweise auch als Phasengitter ausgeführt werden.

[0024] Um ein optisches System bei seiner Betriebsschnittweite möglichst genau prüfen zu können, ist es wünschenswert, das Beugungsgitter so genau als möglich in der zur Objektebene konjugierten Bildebene einzujustieren. Dazu umfaßt das Beugungsgitter ein in unterschiedlichen Periodizitätsrichtungen jeweils eine beugende periodische Struktur aufweisendes Gitter und ein zu diesem koplanares Liniengitter, z. B. ein in der Ebene des Beugungsgitters angeordnetes, mit dem Beugungsgitter verbundenes Liniengitter. Denn in Kombination mit einem weiteren Liniengitter in der Objektebene, welches in seiner Gitterkonstante auf den Abbildungsmaßstab des optischen Systems und die Gitterkonstante des mit dem Beugungsgitter verbundenen Liniengitters angepaßt ist, entsteht bei geeigneter Orientierung der beiden Liniengitter ein Moirémuster. Die beste Einstellebene für das Beugungsgitter ist dann durch den maximalen Moirékontrast gekennzeichnet.

[0025] Im Hinblick auf die Auswertung des Interferogramms ist es günstig, wenn dem Beugungsgitter ein Translationsmodul zur Verschiebung des Beugungsgitters in den zueinander orthogonalen Richtungen zugeordnet ist. Damit kann durch eine Bewegung des Beugungsgitters um ganzzahlige Vielfache der jeweiligen Gitterperiode der Kontrast eines der orthogonalen Interferenzsysteme unterdrückt werden.

[0026] Das Beugungsgitter kann aber auch ein Liniengitter sein, wobei dem Beugungsgitter dann vorteilhafterweise ein Rotationsmodul zur Drehung des Beugungsgitters um 90° zugeordnet ist, um zur vollständigen Wellenfrontrekonstruktion beide orthogonalen Interferenzsysteme erfassen zu können.

[0027] Durch ein zwischen dem Beugungsgitter und dem Detektor angeordnetes Abbildungssystem kann der Detektor in geeigneter Weise auf das Interferogramm angepaßt werden. Dabei ist es vorteilhaft, wenn das dem Lichtleiter zugeordnete Verschiebungsmodul bei einer Verschiebung der Austrittsfläche des Lichtleiters auch das Abbildungssystem parallel zur Bildebene verschiebt.

[0028] Bei Korrektur eines derartigen Abbildungssystems auf die Abbesche Sinusbedingung wird die durch das Beugungsgitter verursachte laterale Scherung der Wellenfronten für alle Öffnungswinkel konstant auf den Detektor übertragen.

[0029] Mit einem zwischen einer Strahlungsquelle und der Wellenfrontquelle angeordneten ersten Strahlteiler zum Auskoppeln eines Anteils der die Wellenfrontquelle versorgenden Strahlung und einem zweiten Strahlteiler, der den vom ersten Strahlteiler ausgekoppelten Strahlungsanteil unter Umgehung von optischem System und Beugungsgitter zum Detektor lenkt, kann die Konstanz der Strahlungsquelle bzw. Wellenfrontquelle überwacht werden. Dabei kann ein Referenzlichtleiter den vom ersten Strahlteiler ausgekoppelten Strahlungsanteil zum zweiten Strahlteiler transportieren. Es kann aber auch ein Teil der Beleuchtungsstrahlung am Beugungsgitter vorbei, z. B. durch eine Ausnehmung des Beugungsgitters auf den Detektor gelenkt werden.

[0030] Nach einem weiteren Gesichtspunkt der Erfindung wird die zugrundeliegende Aufgabe durch die Merkmale in Anspruch 44 gelöst. Denn ein zum Beugungsgitter hin gekrümmter Detektor kann das vom Beugungsgitter erzeugte Interferogramm in einer für die nachfolgende Auswertung des Interferogramms vorteilhaften Weise erfassen.

[0031] So kann bei einem bereichsweise sphärischen Detektor die durch das Beugungsgitter erzeugte laterale Scherung der Wellenfronten unabhängig vom Beugungswinkel konstant bzw. unverzerrt auf den Detektor übertragen werden. Dies bedingt eine erheblich vereinfachte Rekonstruktion der Wellenfronttopographie aus den Scherinterferogrammen.

[0032] Dies wird dadurch verständlich, daß das Scherinterferogramm auf dem Phasenversatz zwischen den gebeugten Wellenfronten und den ungebeugten Wellenfronten beruht und dieser Phasenversatz auf einer zum Ursprung der ungebeugten Wellenfront konzentrischen Kugelfläche konstant ist.

[0033] Wenn der Detektor eine zwischen dem Beugungsgitter und der strahlungssensitiven Sensorfläche angeordnete, zumindest bereichsweise sphärische Sekundärstrahlerfläche umfaßt, können für eine erfindungsgemäße Vorrichtung gebräuchliche Bildsensoren mit planer strahlungssensitiver Sensorfläche, z. B. TV-Kameras, CCD-Sensoren, PEEM usw., verwendet werden. Geeignete Sekundärstrahlerflächen können z. B. als Mattscheibe oder als Fluoreszenzschicht ausgebildet sein.

[0034] Durch eine geeignete frequenzwandelnde Sekundärstrahlerfläche, z. B. eine Fluoreszenzschicht, kann der Detektor selbst bei Verwendung herkömmlicher, für den sichtbaren Wellenlängenbereich optimierter strahlungssensitiver Sensorflächen innerhalb eines großen Wellenlängenbereichs an die jeweiligen Meßwellenlängen angepaßt werden.

[0035] Bei einer weiteren Ausführungsform umfaßt der Detektor beugungsgitterseitig eine Mehrzahl von Lichtleitern, deren beugungsgitterseitigen Lichtleiterenden auf einer

BNSDOCID: <DE__10109929A1_I_>

Kugelkalotte angeordnet sind. Dies kann z. B. durch Polieren einer konkaven sphärischen Fläche in das Ende eines bildgebenden Lichtleiterfaserbündels oder in eine Lichtleiterfaserplatte realisiert werden.

[0036] Die zwischen dem Beugungsgitter und dem Detektor angeordnete Mehrzahl von Lichtleitern kann als bilderhaltendes Lichtleiterbündel das Interferogramm zu einer relativ frei positionierbaren Sensorfläche transportieren. Dadurch kann z. B. das Beugungsgitter innerhalb und ein als Wärmequelle wirkender Bildsensor, z. B. eine TV-Kamera, außerhalb eines Vakuums angeordnet werden.

[0037] Im Hinblick auf eine zuverlässige Erfassung des Scherinterferogramms können die vom Beugungsgitter abgewandten Lichtleiterenden der strahlungssensitiven Sensorfläche direkt zugeordnet sein. Z. B. kann das Faserbündelende direkt auf einen Kamerachip kontaktiert werden.

[0038] Der Detektor kann aber auch ein vorzugsweise telezentrisches optisches Abbildungssystem umfassen. Dadurch ist eine auf die Abmessungen der Sensorfläche angepaßte Abbildung des Interferogramms auf die strahlungssensitive Sensorfläche möglich.

[0039] Nach einem weiteren Gesichtspunkt der Erfindung wird die zugrundeliegende Aufgabe durch die Merkmale in Anspruch 40 gelöst. Denn mit einem sowohl das Beugungsgitter als auch eine Sekundärstrahlerfläche aufweisenden Beugungsgitterträger kann die Vorrichtung zur Wellenfronterfassung besonders kompakt sein. Dadurch wird die Integration einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Wellenfronterfassung in bereits bestehende optische Abbildungseinrichtungen zur betriebsmäßigen Überwachung der Abbildungsqualität möglich.

[0040] Besonders vorteilhaft ist eine Halbkugel, welche zwischen dem Beugungsgitter und der strahlungssensitiven Sensorfläche angeordnet ist und das Beugungsgitter auf seinem planen Oberflächenbereich trägt. Denn dadurch können die bereits angeführten Vorteile sphärischer Sensorflächen in einer kompakten und robusten Bauform erzielt werden. Vorzugsweise ist dabei der sphärische Oberflächenbereich der Halbkugel als Sekundärstrahlerfläche ausgebildet.

[0041] Diese Halbkugel-Ausführungsform des Beugungsgitterträgers kann in herstellungstechnisch effizienter Weise mit einem Lichtleiterfaserbündel und einer Sekundärstrahlerfläche kombiniert werden, wenn die beugungsgitterseitigen Lichtleiterenden durch einen frequenzwandelnden Kitt mit dem sphärischen Oberflächenbereich der Halbkugel verbunden sind.

[0042] Bei einer weiteren Ausführungsform ist vor dem Beugungsgitter ein Wellenfrontmodul und zwischen dem Wellenfrontmodul und dem Beugungsgitter ein optisches System angeordnet. Dadurch kann das optische System mit einer auf das Wellenfrontmodul abgestimmten Beugungsgitter-Detektor-Einheit hochgenau untersucht werden.

[0043] Bei einer Mehrzahl von Wellenfrontquellen im Wellenfrontmodul kann das optische System bezüglich seines Objektfelds an einer Mehrzahl von Feldpunkten gleichzeitig, d. h. parallel, untersucht werden. Durch eine derartige gleichzeitige Messung der Wellenfronten an vielen Feldpunkten ist eine erhebliche Verringerung des Zeitaufwands für die Untersuchung eines optischen Systems möglich.

[0044] Wenn jede Wellenfrontquelle eine Lochmaske aufweist, kann die Struktur der Wellenfrontquellen derart auf den Abbildungsmaßstab des optischen Systems und das Beugungsgitter abgestimmt sein, daß zur Interferenz am Beugungsgitter nur bestimmte Beugungsordnungen beitragen, wodurch die Auswertung des Interferogramms besonders effizient wird. Ferner gibt eine Lochmaske der zweidimensionalen Struktur der Wellenfrontquelle hohen Kontrast. Im Hinblick auf eine hochgenaue Wellenfrontanalyse kann die Lochmaske eine Mehrzahl von Öffnungen aufweisen.

[0045] Bei einer Ausführungsform ist jeder Wellenfrontquelle eine refraktive oder diffraktive Fokussieroptik zugeordnet, welche einfallendes Beleuchtungslicht zur Wellenfrontquelle hin konzentriert. Dadurch kann die üblicherweise ein relativ großes Objektfeld ausleuchtende Standardbeleuchtungseinrichtung des optischen Systems für das Wellenfrontmodul verwendet werden.

[0046] Vorteilhafterweise ist jeder Wellenfrontquelle eine Mehrzahl von Lichtleitern zugeordnet. Dadurch können die Interferogramme der einzelnen Wellenfrontquellen zuverlässig auf einen jeweils zugeordneten Bereich der strahlungssensitiven Sensorfläche abgebildet werden.

[0047] Die Zuordnung einer sphärischen Sekundärstrahlerfläche zu jeder Wellenfrontquelle ermöglicht eine unverzerrte Erfassung der durch das Beugungsgitter erzeugten lateralen Scherung durch den Detektor.

[0048] Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist insbesondere aufgrund ihrer Kompaktheit und Auswerteeffizienz bzw. -genauigkeit zur Prüfung von Projektionsobjektiven für die Mikrolithografie geeignet.

[0049] Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren nach Anspruch 57. Durch die Verschiebung der Wellenfrontquelle oder des Beugungsgitters in einer seiner Periodizitätsrichtung um ein ganzzahliges Vielfaches der entsprechenden Gitterperiode kann der Kontrast eines der orthogonalen Interferenzsysteme unterdrückt werden und die Auswertung des Interferogramms erheblich vereinfacht werden.

[0050] Dabei kann die Verschiebung der Wellenfrontquelle oder des Beugungsgitters während der Bildaufnahmezeit des Detektors, die typischerweise 30 Millisekunden beträgt, erfolgen. Typischerweise ist der Verschiebungsweg des Beugungsgitters dabei 6 bis 18 μm.

[0051] Mit einem sehr schnellen Detektor können aber auch während der Verschiebung der Wellenfrontquelle oder des Beugungsgitters eine Mehrzahl von Interferogrammbildern aufgenommen werden, wobei dann zur Wellenfronterfassung die Mehrzahl von Interferogrammbildern verwendet wird. Denn eine Überlagerung der einzelnen Interferogrammbilder entspricht dann wieder der obigen Bildintegration während der kompletten Beugungsgitterverschiebung.

[0052] Dieser erfindungsgemäße Verschiebung des Beugungsgitters in einer seiner Periodizitätsrichtung um ein ganzzahliges Vielfaches der entsprechenden Gitterperiode kann die z. B. aus der DE 195 38 747 A1 bekannte Phasenmodulation durch eine Hin- und Herbewegung des Beugungsgitters mit der Frequenz ω und durch anschließendes schmalbandiges Filtern noch überlagert werden.

[0053] Die Erfindung betrifft weiterhin auch ein Verfahren nach den Ansprüchen 60 bis 62. Diesem Erfindungsaspekt liegt die folgende Problematik zugrunde.

[0054] Im Interferogramm sind dem Nutzsignal erfahrungsgemäß Störsignale überlagert. Diese Störsignale können von Herstellungsfehlern bzw. Imperfektionen des Beugungsgitters oder der Wellenfrontquelle, von selbst kleinsten Dejustagen der Bauteile, von einer nicht perfekten Ausleuchtung der Wellenfrontquelle oder von Geisterbildern bzw. Geisterinterferogrammen aufgrund etwaiger Rückreflexionen aus dem optischem System sowie aus der Vorrichtung zur Wellenfronterfassung (z. B. von der Detektorfläche, Gitterrückseite usw.) herrühren. Diese Störungen sind dem Nutzsignal typischerweise periodisch überlagert, d. h. sie variieren periodisch um den richtigen Meßwert. Ihre Frequenz, Phasenlage und Amplitude können durch Variation der Anfangsphase (Phasenlage des Gitters zur Wellenfrontquelle) erfaßt werden.

BNSDOCID: <DE__10109929A1_I_>

[0055] Insbesondere bei einer Variation der Phasenlage der Wellenfrontquelle, z. B. durch Verschiebung der Beleuchtungsmaske gegenüber dem ortsfesten Beugungsgitter, zeigen sich dabei deutliche Amplituden, d. h. große Veränderungen der Störsignale.

[0056] Da derartige Störungen periodisch um den Mittelwert variieren, können sie durch Verschieben der Position der Wellenfrontquelle oder des Beugungsgitters um definierte Bruchteile der jeweiligen Periode und anschließende Mittelung der Meßwerte rechnerisch eliminiert werden.

[0057] Die Anmelderin hat in diesem Zusammenhang herausgefunden, daß die Störsignale einen dominanten Beitrag der zweiten Harmonischen des Nutzsignals aufweisen, also bei der Variation der Anfangsphase um eine Periode des Gitters oder der Wellenfrontquelle zwei Schwingungsperioden durchlaufen.

[0058] Die Erfindung betrifft ferner einen Stepper oder Scanner zur Mikrolithografie mit einer der im vorhergehenden beschriebenen Vorrichtung zur Wellenfronterfassung.

[0059] Ein derartiger Stepper/Scanner kann ohne größere Störung des Produktionsablaufs in-situ, d. h. am Produktionsstandort und während des Produktionszyklus, auf seine Produktionsqualität, z. B. auf Einhaltung der Toleranzgrenzen der jeweiligen Bildfehler hin überwacht werden, wenn das Wellenfrontmodul betriebsmäßig in die Objektebene des Projektionsobjektivs bringbar und aus ihr entfernbar ist und/oder wenn das Beugungsgitter betriebsmäßig in die Bildebene des Projektionsobjektivs bringbar und aus ihr entfernbar ist.

[0060] Besonders günstig ist es dabei, wenn der Stepper/Scanner einen Aberrationsregelkreis aufweist, der über Wirk- oder Manipulatorelemente auf das Projektionsobjektiv einwirken kann.

[0061] Eine besondere Eignung der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Wellenfronterfassung in einen Stepper oder Scanner zur Mikrolithografie liegt auch darin begründet, daß sie sowohl für kohärente als auch für inkohärente Strahlung vom Infrarot- bis in den Röntgenbereich geeignet ist, insbesondere auch für Strahlungsquellen kurzer Kohärenzlänge, z. B. eine HBO-Lampe, einen Excimer-Laser oder ein Synchrotronstrahler. Die Produktionsüberwachung kann also mit der Betriebslichtquelle bei der Betriebswellenlänge des Mikrolithografie-Projektionsobjektivs erfolgen.

[0062] Im folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit den beigefügten Figuren erläutert.

[0063] Es zeigen in schematischer Darstellung:

[0064] **Fig.** 1 eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Wellenfronterfassung;

[0065] **Fig.** 2 die Beleuchtungsmaske der Wellenfrontquelle von **Fig.** 1 in Draufsicht;

[0066] **Fig.** 3 eine alternative Beleuchtungsmaske in Draufsicht;

[0067] **Fig.** 4 eine weitere, für die Wellenfrontquelle von **Fig.** 1 geeignete Beleuchtungsmaske;

[0068] **Fig.** 5 noch eine weitere, für die Wellenfrontquelle von **Fig.** 1 geeignete Beleuchtungsmaske;

[0069] **Fig.** 6 eine Ausführungsform von Beleuchtungssystem und Beleuchtungsmaske;

[0070] **Fig.** 7 eine weitere Ausführungsform von Beleuchtungssystem und Beleuchtungsmaske;

[0071] **Fig.** 7a eine andere Ausführungsform von Beleuchtungssystem und Beleuchtungsmaske mit einem Stapel aus Mikrolinsenplatten und integrierten Graufiltern zur Korrektur der Intensitätsverteilung;

[0072] **Fig.** 7b eine schematische Darstellung der Transmission der in **Fig.** 7a gezeigten Graufilter als Funktion des radialen Abstands von der Achse der Graufilter;

[0073] **Fig.** 8 das Beugungsgitter der Vorrichtung von **Fig.** 1 in Draufsicht;

[0074] **Fig.** 9 ein zweites, für die Vorrichtung von **Fig.** 1 verwendbares Beugungsgitter;

[0075] **Fig.** 10 ein drittes, für die Vorrichtung von **Fig.** 1 verwendbares Beugungsgitter;

[0076] **Fig.** 11a ein viertes, für die Vorrichtung von **Fig.** 1 verwendbares Beugungsgitter;

[0077] **Fig.** 11b eine Ausschnittsvergrößerung von **Fig.** 11a;

[0078] **Fig.** 12 eine als Beugungsgitter-Detektor-Einheit ausgebildete, weitere erfindungsgemäße Vorrichtung zur Wellenfronterfassung;

[0079] **Fig.** 13 eine als Beugungsgitter-Detektor-Einheit ausgebildete, dritte Ausführungsform der Erfindung;

[0080] **Fig.** 14 eine als Beugungsgitter-Detektor-Einheit ausgebildete, vierte Ausführungsform der Erfindung;

[0081] **Fig.** 15 eine Ausführungsform mit einer Mehrzahl paralleler Meßkanäle;

[0082] **Fig.** 16 eine vergrößerte Ausschnittsdarstellung des Wellenfrontmoduls der Ausführungsform von **Fig.** 15;

[0083] **Fig.** 17 eine Anordnung für die Mikrolithografie mit einer mehrkanaligen Vorrichtung zur Wellenfronterfassung; und

[0084] **Fig.** 18 eine Anordnung gemäß **Fig.** 17 mit einem Aberrationsregelkreis.

[0085] In **Fig.** 1 ist eine Vorrichtung **1** zur Wellenfronterfassung schematisch in einem Längsschnitt dargestellt. Dabei erzeugt eine in einer Objektebene **3** eines optischen Systems **5** angeordnete Wellenfrontquelle **7** eine Wellenfront. Die von der Wellenfrontquelle **7** ausgehenden, als Konturlinien schematisch dargestellten Wellenfronten **9** durchlaufen das optische System **5** und werden durch das optische System **5** zu ausgehenden Wellenfronten **10** umgeformt, welche dann auf ein Beugungsgitter **11** treffen.

[0086] Das optische System S. dessen optische Achse **50** parallel zu einer Z-Richtung ist, umfaßt zwei als Doppelpfeile symbolisierte optische Elemente, z. B. Linsen, **13** und **15** und bildet die Wellenfrontquelle **7** auf das Beugungsgitter **11** ab, wobei das Beugungsgitter **11** in der zur Objektebene **3** konjugierten Bildebene liegt. Eine Aperturblende **17** des optischen Systems **5** ist in **Fig.** 1 ebenfalls zu erkennen.

[0087] Dem Beugungsgitter **11** ist ein ortsauflösender Detektor **19** nachgeordnet. Der Detektor **19** umfaßt eine strahlungssensitive Sensorfläche **20**, z. B. einen CCD-Chip, sowie ein zwischen dem Beugungsgitter **11** und der Sensorfläche **20** angeordnetes Abbildungssytem **22**, welches das vom Beugungsgitter **11** erzeugte Interferogramm bzw. Scherogramm auf die Sensorfläche **20** abbildet. Das Abbildungssytem **22** weist ein Mikroskopobjektiv **21** und weitere optische Elemente **23** und **25** auf und bildet zusammen mit dem optischen Element **15** die Aperturblende **17** auf die Sensorfläche **20** ab, wie es durch den Pupillenstrahlengang **27** dargestellt ist. Das Abbildungssytem **22** ist sinuskorrigiert, wobei es die Qualität der Sinuskorrektur des Mikroskopobjektivs **21** ist, welche ausschlaggebend für die Konstanz der Scherdistanz über die vermessene Wellenfront ist.

[0088] Die Wellenfrontquelle **7** umfaßt eine in **Fig.** 2 detaillierter dargestellte Lochmaske **8**, welche am Ausgang eines Lichtleiters **29** angebracht ist. Der Lichtleiter **29** ist zur Untersuchung des ganzen Bildfelds des optischen Systems **5** mittels eines Verschiebungsmoduls **31** parallel zur Objektebene **3** in X- und/oder Y-Richtung verschiebbar, was durch den Doppelpfeil **33** und die strichpunktierten Phantomdarstellungen **35** angedeutet ist.

[0089] Bei der Vorrichtung **1** wird von dem Verschiebungsmodul **31** zur Abtastung des Bildfelds des optischen

BNSDOCID: <DE__10109929A1_I_>

Systems **5** simultan mit dem Lichtleiter **29** auch der Detektor **19** in X- und/oder Y-Richtung verschoben.

[0090] Das Beugungsgitter **11** kann von einem Translationsmodul **37** in der Bildebene des optischen Systems **5**, d. h. in X- und/oder Y-Richtung, verschoben werden, um den Kontrast eines der orthogonalen Interferenzsysteme des Beugungsgitters **11** unterdrücken zu können.

[0091] Zwischen einer Strahlungsquelle **43** und der Wellenfrontquelle **7** ist ein erster Strahlteiler **45** zum Auskoppeln eines Teils der die Wellenfrontquelle versorgenden Strahlung angeordnet. Ein zwischen den optischen Elementen **23** und **25** in einem Fokuspunkt der Wellenfront angeordneter, zweiter Strahlteiler **47** lenkt den vom ersten Strahlteiler **45** ausgekoppelten Strahlungsanteil unter Umgehung von optischem System **5** und Beugungsgitter **11** zur Sensorfläche **20**, wodurch die Konstanz der Strahlungsquelle **43** überwachbar ist. Dabei transportiert ein Referenzlichtleiter **49** den vom ersten Strahlteiler **45** ausgekoppelten Strahlungsanteil zum zweiten Strahlteiler **47**.

[0092] Wie in **Fig.** 2 zu erkennen ist, weist die Lochmaske **8** der Wellenfrontquelle **7** eine zentrisch zur optischen Achse **50** des optischen Systems **5** angeordnete, quadratische Öffnungen **53** und vier um die Öffnung **53** in Abstand und symmetrisch zur optischen Achse **50** herum angeordnete Öffnungen **51** auf.

[0093] In **Fig.** 3 ist eine weitere Ausführungsform einer für die Wellenfrontquelle **7** geeigneten Lochmaske gezeigt. Diese Lochmaske **8'** umfaßt eine gleichfalls zentrisch zur optischen Achse **50** des optischen Systems **5** angeordnete, quadratische Öffnungen **53'** und vier an die Öffnung **53'** angrenzende und symmetrisch zur optischen Achse **50** herum angeordnete Öffnungen **51'**.

[0094] Je nach Anwendungsfall kann die Zahl der Öffnungen einer erfindungsgemäßen Lochmaske auch größer sein als in den **Fig.** 2 und 3.

[0095] Diese zweidimensionale Strukturen der Wellenfrontquelle **7** sind derart auf die in den **Fig.** 8 und 9 dargestellten Beugungsgitter abgestimmt, daß zur Interferenz am Beugungsgitter nur bestimmte Beugungsordnungen beitragen.

[0096] In **Fig.** 4 ist eine Lochmaske **8"** mit rotationssymmetrischer Transmissionsverteilung gezeigt. Dabei sind eine zentrale Kreisfläche **54** sowie eine Ringfläche **56** transparent und komplementäre Ringflächen **52** opak.

[0097] In **Fig.** 5 ist eine Beleuchtungsmaske **8'"** mit Öffnungen **57** dargestellt, welche als gleichseitige Dreiecke ausgebildet sind. Die Beleuchtungsmaske **8'"** hat also eine dreizählige Symmetrie und wirkt im Hinblick auf die Auslöschung bestimmter Beugungsordnungen besonders vorteilhaft mit dem Beugungsgitter von **Fig.** 10 zusammen.

[0098] Die **Fig.** 6 und 7 zeigen alternative Ausführungsformen von Beleuchtungssystem-Beleuchtungsmasken-Anordnungen.

[0099] In **Fig.** 6 ist eine Aufweitungs- oder Fokussierlinse **30** zwischen einer Lichtleitfaser **29'** und einer auf einer Mattscheibe **6** angebrachten Lochmaske **8** angeordnet.

[0100] Über die Mattscheibe **6** kann die räumliche Kohärenz gesteuert werden, wobei zu beachten ist, daß die Beleuchtung der Lochmaske **8** idealerweise inkohärent ist, um durch die Lochmaskengeometrie die räumliche Kohärenzverteilung gezielt formen zu können.

[0101] Durch die Linse **30** kann die Beleuchtungsapertur an die Aperturblende **17** angepaßt werden. Dadurch kann die Aperturblende **17** vollständig ausgeleuchtet, d. h. eine Unterfüllung der Aperturblende **17** vermieden werden, auch wenn die numerische Apertur der Beleuchtungsfaser **29'** und des optischen Systems einander nicht entsprechen.

[0102] In **Fig.** 7 ist eine über eine Kondensorlinse **32** beleuchtete Lochmaske **8'** mit dazwischen angeordneter Mattscheibe **6'** und Aufweitungs- oder Fokussierlinse **30'** gezeigt.

[0103] Bei anderen Ausführungsformen (**Fig.** 7a) ist an Stelle der Aufweitungs- oder Fokussierlinse **30'** ein Mikrolinsensystem **30"** vorgesehen, das eine oder mehrere Mikrolinsenplatten aufweist. Das Mikrolinsensystem kann einen Stapel von zwei oder mehr in Durchstrahlrichtung mit Abstand hintereinanderliegenden, transparenten Platten **31"** umfassen, die beispielsweise aus Quarzglas oder Kalziumfluorid gefertigt sind und in denen jeweils, beispielsweise durch einen lithographischen Prozeß, ein oder mehrere refraktive oder diffraktive Mikrolinsen **32"** ausgebildet sind. Das in **Fig.** 7a gezeigte Mikrolinsensystem hat zwei direkt aufeinanderfolgende Linsenplatten **31"** und ist in einen Stapel aus Optikelementen eingebunden, der an seiner Eintrittsseite eine planparallele Platte **34"** mit der Streuscheibe **6"** und an seiner Austrittsseite eine planparallele Platte **35"** mit der Lochmaske **8"** umfaßt. Aus Platten aufgebaute Optiksysteme bzw. Mikrolinsensysteme dieser Art sind kostengünstig in großen Stückzahlen herstellbar und kompakt. Die Mikrolinsen sind durch gegenseitige Ausrichtung der Platten gut zueinander ausrichtbar. Bevorzugt ist eine Parallelisierung von Linsen oder Linsensystemen, d. h. eine Bereitstellung einer in der Regel regelmäßigen ein- oder zweidimensionalen Array-Anordnung von Mikrolinsen oder mehrlinsigen Optiken. Dadurch sind mehrkanalige Vorrichtungen zur Wellenfronterfassung mit hoher Qualität kostengünstig realisierbar.

[0104] Bei gewissen Ausführungsformen umfaßt das Beleuchtungssystem der Wellenfrontquelle mindestens eine Korrektureinrichtung **40"** zur Korrektur der Intensitätsverteilung eines Beleuchtungskanals. Die Wirkung der Korrektureinrichtung kann zum Beispiel durch Austausch von Filterelementen variabel einstellbar sein. Die bevorzugt im Bereich einer Pupillenebene des Beleuchtungssystems eingeführte Korrektur der Intensitätsverteilung ist zweckmäßig an die Aufnahmecharakteristik des Detektors so angepasst, daß eine Ausnutzung der vollen Dynamik des Detektors möglich wird. Beispielsweise kann es bei einem Detektor mit ebener Sensorfläche, z. B. einem CCD-Chip, am Rand des ausgeleuchteten Bereiches aufgrund schrägen Lichteinfalls zu einem Abfall der flächenspezifischen Beleuchtungsintensität kommen. Dies kann kompensiert werden durch eine beleuchtungsseitige Intensitätskorrektur, die im Zentralbereich eine geringere Beleuchtungsstärke erzeugt als im Randbereich.

[0105] Bei der in **Fig.** 7a gezeigten Ausführungsform umfaßt die Korrektureinrichtung **40"** zur Intensitätsverteilungskorrektur für jede der mehrlinsigen Optiken des nach Art eines Quadratgitters aufgebauten, zweidimensionalen Beleuchtungsarrays einen Graufilter **41"**, dessen rotationssymmetrische Transmissionscharakteristik mit zum Rande zunehmender Transmission T in **Fig.** 7b schematisch gezeigt ist. Die Graufilter **41"** sind auf einer zwischen der Streuscheibenplatte **34"** und dem abbildenden Mikrolinsensystem **30"** angeordneten, planparallelen Filterplatte **36"** ausgebildet und liegen im Bereich einer Pupillenebene **33"** des Beleuchtungssystems. Alternativ oder zusätzlich können Graufilter auch an der Streuscheibe **6"** bzw. der Streuscheibenplatte **34"** oder einer anderen Pupillenebene des Beleuchtungssystems angeordnet sein, sofern eine solche existiert. Eine derartige Intensitätskorrektur mit Graufilter kann auch bei einkanaligen Beleuchtungssystemen vorgesehen sein, z. B. bei dem in **Fig.** 7 gezeigten System, wo ein Graufilter z. B. an der Streuscheibe **6'** ausgebildet sein kann. Der Begriff "Graufilter" steht hier allgemein für alle über Beugung, Brechung, Absorption oder Reflexion auf die räumliche In-

BNSDOCID: <DE__10109929A1_I_>

tensitätsverteilung wirkenden Einrichtungen.

[0106] Das Beugungsgitter **11** ist in **Fig.** 8 dargestellt. Das Beugungsgitter **11** umfaßt ein Schachbrettgitter **55**, das die Interferenz, d. h. die laterale Scherung der Wellenfronten, bewirkt. Die in **Fig.** 8 gezeichneten X- und Y-Richtungen entsprechen denjenigen der **Fig.** 1 bis 3 und sollen andeuten, daß das Schachbrettgitter **55** in der Vorrichtung **1** in Entsprechung zu den Öffnungen **51** und **53** bzw. **51'** und **53'** der Wellenfrontquellen **8** und **8'** diagonal angeordnet ist.

[0107] **Fig.** 9 zeigt eine weitere Ausführungsform eines für die Vorrichtung von **Fig.** 1 geeigneten Beugungsgitters **11'**, welches ein als Kreuzgitter **11'** ausgebildetes Amplitudengitter ist.

[0108] In **Fig.** 10 ist eine weitere Ausführungsform eines für die Vorrichtung von **Fig.** 1 geeigneten Beugungsgitters **11'''** dargestellt, welches besonders vorteilhaft mit der Beleuchtungsmaske **8'''** von **Fig.** 5 zusammenwirkt. Das Beugungsgitters **11'''** ist ein als Dreiecksgitter ausgebildetes Amplitudengitter und weist drei Beugungsrichtungen auf.

[0109] Ein weiteres vorteilhaftes Beugungsgitter **11"** zeigen die **Fig.** 11a und 11b. Das Beugungsgitter **11"** umfaßt ein Schachbrettgitter **58**, das in **Fig.** 11b vergrößert herausgezeichnet ist und die Interferenz, d. h. die laterale Scherung der Wellenfronten, bewirkt. In der Ebene des Schachbrettgitters **58** ist in einem für die Scherung der Wellenfront nicht benötigten Bereich ein mit dem Schachbrettgitter **58** verbundenes Moiré-Liniengitter **59** angeordnet.

[0110] In **Fig.** 12 ist eine weitere Vorrichtung **101** zur Wellenfronterfassung schematisch im Axiallängsschnitt dargestellt. Die den Elementen der **Fig.** 1 bis 9 entsprechenden Elemente in **Fig.** 12 haben die gleichen Bezugszeichen vermehrt um die Zahl **100**. Für eine Beschreibung dieser Elemente wird auf die Beschreibung zu den **Fig.** 1 bis 9 verwiesen.

[0111] Von einer Wellenfrontquelle ausgehende Wellenfronten durchlaufen ein optisches System, von dem lediglich das optische Element **115** dargestellt ist, und werden durch das optische System zu ausgehenden Wellenfronten **110** umgeformt, welche dann auf ein Beugungsgitter **111** treffen.

[0112] Das Beugungsgitter **111** ist mit einem ortsauflösenden Detektor **119** zu einer Beugungsgitter-Detektor-Einheit **111, 119** zusammengefaßt.

[0113] Dabei ist auf eine strahlungssensitive Sensorfläche **120** des Detektors **119** ein bilderhaltendes Lichtleiterfaserbündel **160** kontaktiert. Beugungsgitterseitig endet das Faserbündel **160** in einer sphärischen Fluoreszenzschicht **161**, welche konzentrisch zum Schnittpunkt von optischer Achse **150** und Beugungsgitter **111** ist, wobei die optische Achse **150** wiederum parallel zur Z-Richtung ist.

[0114] In die konkave Fläche des Faserbündels **160** ist unter Ausbildung der Fluoreszenzschicht **161** eine transparente Halbkugel **163** mit einem fluoreszierenden Kitt gekittet, wobei die Halbkugel **163** auch dem Schutz der Fluoreszenzschicht **161** dient. Auf der Planseite der Halbkugel **163** ist das Beugungsgitter **111** angeordnet.

[0115] Aufgrund der Streuwirkung der Fluoreszenzschicht **161** in alle Richtungen kann durch die Fluoreszenzschicht **161** nicht nur eine Wellenlängenanpassung auf die spektrale Empfindlichkeit der Sensorfläche **120** erfolgen, sondern auch die Einkopplung der gebeugten Strahlung in die einzelnen Lichtleiterfasern verbessert werden. Falls eine Frequenz- bzw. Wellenlängenwandlung nicht erforderlich sein sollte, kann anstelle der Fluoreszenzschicht **161** eine streuende Sekundärstrahlerfläche auch durch Mattierung der konkaven Fläche des Faserbündels **160** erzielt werden.

[0116] Das Beugungsgitter **111** ist als Schachbrettgitter oder Kreuzgitter ausgebildet, d. h. es weist jeweils eine beugende periodische Struktur für die X-Richtung und für die dazu orthogonale Y-Richtung auf. Dadurch können aus einem einzigen, von dem ortsauflösenden Detektor **119** aufgenommenen Interferogramm Phasengradienten in mehr als einer Richtung bestimmt werden. Im Hinblick auf die Auswertung des Interferogramms ist dem Beugungsgitter **111** ein Translationsmodul **137** zur Verschiebung der Beugungsgitter-Detektor-Einheit **111, 119** und damit des Beugungsgitters **111** in jeweils der X- bzw. Y-Richtungen zugeordnet. Damit kann durch eine Bewegung des Beugungsgitters um ganzzahlige Vielfache der jeweiligen Gitterperiode während der Integrationszeit der strahlungssensitiven Sensorfläche **120** der Kontrast eines der orthogonalen Interferenzsysteme des Beugungsgitters **111** unterdrückt werden.

[0117] In **Fig.** 13 ist eine weitere Beugungsgitter-Detektor-Einheit zu erkennen. Die den Elementen von **Fig.** 12 entsprechenden Elemente in **Fig.** 13 haben die gleichen Bezugszeichen wie in **Fig.** 12 vermehrt um die Zahl **100**. Für eine Beschreibung dieser Elemente wird auf die Beschreibung zu **Fig.** 12 bzw. zu den **Fig.** 1 bis 9 verwiesen.

[0118] Bei der Beugungsgitter-Detektor-Einheit **201** von **Fig.** 13 wird das Interferogramm von der Sekundärstrahlerfläche **261** auf den Bildsensor **220** über ein direkt mit der Sekundärstrahlerfläche **261** und dem Bildsensor **220** kontaktiertes, als Faserplatte ausgebildetes Lichtleiterfaserbündel **260** abgebildet. Bei dieser Ausführungsform kann das Beugungsgitter **211** getrennt vom Detektor **219** bewegt werden, z. B. für die erwähnten Verschiebung in einer der Periodizitätsrichtungen des Beugungsgitters **211** orthogonal zur optischen Achse **250**. Daneben kann zur Einstellung der Austrittspupillengröße auf der Sensorfläche **220** das Beugungsgitter **211** auch parallel zur optischen Achse **250** verschoben werden. Eine Sekundärstrahlerfläche, bei der es sich beispielsweise um eine frequenzerhaltende Mattierung oder um eine frequenzwandelnde Quantenkonverterschicht handeln kann, kann auch an der der Sensorfläche zugewandten Rückseite eines das Beugungsgitter **211** tragenden Substrats angebracht sein.

[0119] In **Fig.** 14 ist eine Beugungsgitter-Detektor-Einheit zu erkennen, bei der das Beugungsgitter und die Sekundärstrahlerfläche auf einem gemeinsamen Beugungsgitterträger angeordnet sind. Die den Elementen von **Fig.** 12 entsprechenden Elemente in **Fig.** 14 haben die gleichen Bezugszeichen vermehrt um die Zahl **200**. Für eine Beschreibung dieser Elemente wird auf die Beschreibung zu **Fig.** 12 bzw. zu den **Fig.** 1 bis 9 verwiesen.

[0120] Die Ausführungsform **301** von **Fig.** 14 weist ein telezentriertes optisches Abbildungssystem **322** auf, welches das Interferogramm von der auf der beugungsgitterfernen Seite des Beugungsgitterträgers **363** liegenden, zum Beugungsgitter **111** hin gekrümmten Sekundärstrahlerfläche **361** auf die strahlungssensitiven Sensorfläche **320** abbildet. Bei anderen Ausführungsformen ist ein planparalleler Beugungsgitterträger vorgesehen, an dessen sensorseitiger Rückseite eine ebene Sekundärstrahlerfläche vorgesehen ist.

[0121] Eine ebene Sekundärstrahlerfläche könnte bei Verzicht auf das Abbildungssystem **322** der auch unmittelbar benachbart zur Sensorfläche angeordnet sein. Der Beugungsgitterträger könnte dadurch zugleich als Deckglas für die Sensorfläche **320** dienen.

[0122] In den **Fig.** 15 und 16 ist eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Wellenfronterfassung dargestellt. Die den Elementen der **Fig.** 1 bis 9 bzw. der **Fig.** 12 entsprechenden Elemente in den **Fig.** 15 und 16 tragen die gleichen Bezugszeichen wie in den **Fig.** 1 bis 9 bzw. in **Fig.** 12 vermehrt um die Zahl **400** bzw. **300**. Für eine Beschreibung dieser Elemente wird auf die Beschreibung zu den **Fig.** 1 bis 9 bzw. zu **Fig.** 12 verwiesen.

BNSDOCID: <DE__10109929A1_I_>

[0123] Die Vorrichtung **401** umfaßt ein in **Fig.** 16 ausschnittsweise im Detail dargestelltes Wellenfrontmodul **465** und eine Mehrzahl sphärischer Sekundärstrahlerflächen **461** mit diesen jeweils zugeordneten Lichtleiterfaserbündeln **460**.

[0124] Das in **Fig.** 16 ausschnittsweise gezeigte Wellenfrontmodul **407** umfaßt eine in der Objektebene des optischen Systems **405** ausgedehnte, zweidimensionale, z. B. hexagonale Anordnung von Fokussierlinsen **467** und Lochmasken **408**, wobei jeweils eine Fokussierlinse **467** in Richtung auf das Beugungsgitter **411** zu einfallendes Beleuchtungslicht auf die zugeordnete Lochmaske **408** konzentriert.

[0125] Durch die Vorrichtung **401** zur Wellenfronterfassung können also die Wellenfronten im gesamten Bildfeld des optischen Systems **405** parallel für eine große Zahl von Feldpunkten erfaßt werden, was in **Fig.** 15 anhand dreier, von den Wellenfrontquellen **407** ausgehender Strahlengänge angedeutet ist. Aufgrund der Erfindung kann damit das optische System **405** parallel, d. h. gleichzeitig, für eine Mehrzahl von Feldpunkten hinsichtlich seiner Abbildungseigenschaften vermessen werden.

[0126] Die Vorrichtung **405** ist damit eine mehrkanalige Vorrichtung zur Wellenfronterfassung, während die Vorrichtungen der **Fig.** 1 bis 14 in diesem Sinne einkanalig sind. Für die Vorrichtung **401** ist aber auch die Beugungsgitter-Detektor-Einheit von **Fig.** 13 geeignet.

[0127] In **Fig.** 17 ist eine Anordnung **502** für die Mikrolithografie, in die eine mehrkanalige erfindungsgemäße Vorrichtung zur Wellenfronterfassung integriert ist, schematisch dargestellt. Die den Elementen der **Fig.** 15 entsprechenden Elemente in **Fig.** 17 tragen die gleichen Bezugszeichen wie in **Fig.** 15 vermehrt um die Zahl **100**. Für eine Beschreibung dieser Elemente wird auf die Beschreibung zu **Fig.** 15 verwiesen.

[0128] Die Mikrolithografieanordnung **502** ist insbesondere ein Stepper oder Scanner und umfaßt ein Mikrolithografie-Projektionsobjektiv **505**, in dessen Objektebene im Austausch mit einem Reticle ein Wellenfrontmodul **565** eingeschoben oder eingeschwenkt werden kann. Über eine Beleuchtungsfeldlinse **569** wird das Wellenfrontmodul **565** mit Beleuchtungsstrahlung versorgt. Anstelle eines Wafers liegt, betriebsmäßig mit einem Wafer austauschbar, auf einer Waferstage **571** eine Beugungsgitter-Detektor-Einheit **511**, **519** von dem in **Fig.** 13 gezeigten Typ, wobei das Beugungsgitter **511** in der Bildebene des Projektionsobjektivs **505** angeordnet ist. Die im vorhergehenden erwähnte Verschiebung des Beugungsgitters **511** kann dabei mittels der ohnehin orthogonal zur optischen Achse des Projektionsobjektivs **505** bewegbaren Waferstage **571** erfolgen, wobei die gesamte Beugungsgitter-Detektor-Einheit **511**, **519** bewegt wird. Da die Größenordnung der erforderlichen Verschiebungsstrecke typischerweise 10 µm ist, wird die durch diese Verschiebung verursachte Verlagerung der Austrittspupille auf der Sensorfläche vernachlässigbar klein.

[0129] Als Beugungsgitter-Detektor-Einheit kann für einen Stepper/Scanner zur Mikrolithografie vorzugsweise auch die in **Fig.** 15 dargestellte Beugungsgitter-Detektor-Einheit mit bereichsweise sphärischem Detektor eingesetzt werden.

[0130] Insbesondere für Anwendungen bei Betriebswellenlängen von weniger als ca. 200 nm, z. B. für 193 nm, 157 nm oder darunter, ist es zweckmäßig, den Bereich des Wellenfrontmoduls bzw. der Wellenfrontquelle und/oder den Bereich der Beugungsgitter-Detektor-Einheit bzw. des Beugungsgitters frei von Sauerstoff und anderen die verwendete Strahlung absorbierenden Substanzen wie Wasser, Kohlenwasserstoffen o. dgl. zu halten. Daher ist bei einigen Ausführungsformen vorgesehen, daß diese Bereiche mit einem Inertgas gespült oder befüllt und versiegelt oder evakuiert werden. Als Spülgas oder Füllgas kann z. B. ein Helium oder Stickstoff enthaltendes, sauerstofffreies Gas verwendet werden. Es kann ein ggf. gasdicht abschließbarer, transparenter Behälter z. B. mit Wänden aus Kalziumfluorid oder Quarzglas vorgesehen sein, der die zu schützende Anordnung umgibt und der mit einem die Strahlung nicht wesentlich absorbierenden Gas befüllbar oder durchströmbar und/oder evakuierbar ist.

[0131] Mit dem Stepper/Scanner **502** zur Mikrolithografie kann aufgrund der Mehrkanaligkeit von Wellenfrontmodul **565** und Beugungsgitter-Detektor-Einheit **511**, **519** z. B. die Verzeichnung des Projektionsobjektivs **505** gemessen werden. Da die Phasenbeziehungen unter den einzelnen Meßkanälen aufgrund der kompakten, zu einer Baueinheit zusammengefaßten Beugungsgitter-Detektor-Einheit fixiert und bekannt sind, können nämlich durch relative Phasenmessungen die relativen Wellenfrontverkippungen und damit die Verzeichnung bestimmt werden.

[0132] In **Fig.** 18 ist eine Anordnung **602** für die Mikrolithografie mit einem Aberrationsregelkreis schematisch im Axiallängsschnitt dargestellt. Die den Elementen der **Fig.** 17 entsprechenden Elemente in **Fig.** 18 haben die gleichen Bezugszeichen vermehrt um die Zahl **100**. Für eine Beschreibung dieser Elemente wird auf die Beschreibung zu **Fig.** 17 bzw. zu den **Fig.** 1 bis 16 verwiesen.

[0133] Im Unterschied zum Stepper/Scanner **502** weist die Anordnung von **Fig.** 18 als Beleuchtungssystem eine Mehrzahl von jeweils einer Lochmaske **608** zugeordnete Beleuchtungslichtleitfasern **629** auf. D. h. diese Beleuchtungsanordnung entspricht einem zweidimensionalen Array der in **Fig.** 6 gezeigten Anordnung.

[0134] Bei dieser Matrixanordnung von Beleuchtungsfasern ist die optische Achse der Beleuchtung fest zur Hauptstrahlrichtung ausgerichtet und somit eine homogene Ausleuchtung der Aperturblende von jedem Objektfeldpunkt möglich.

[0135] Das Projektionsobjektiv **605** der als Stepper oder Scanner ausgebildeten Mikrolithografieanordnung **602** umfaßt als optische Elemente beispielhaft drei Linsen **673**, **675** und **677**. Den Linsen **673**, **675** und **677** ist jeweils ein Wirkelement **679**, **681** und zugeordnet, mit dem die Abbildungseigenschaften der entsprechenden Linse und damit des Projektionsobjektivs **605** steuerbar sind. Die Wirkelemente können z. B. Stellglieder, mit denen die zugeordnete Linse verschoben oder gedreht werden kann, oder Aktuatoren sein, mit denen die zugeordnete Linse gezielt verformt oder mechanischer Spannung ausgesetzt werden kann.

[0136] Eine Vorrichtung **601** zur Wellenfronterfassung umfaßt eine Auswerteeinheit **604**, welche aus den von einer Sensorfläche **620** aufgenommenen Interferogrammen die momentane, für die Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs **605** charakteristische Wellenfronttopographie bestimmt.

[0137] Von der Auswerteeinheit **604** wird ein der erfaßten momentanen Wellenfront entsprechendes Signal **686** an eine Vergleichseinrichtung **685** übergeben. Die Vergleichseinrichtung **685** vergleicht das Signal **686** mit einem den gewünschten Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs **605** entsprechenden Sollwertsignal **687**. Von dem Ergebnis des Vergleichs ausgehend werden Wirksignale **689** an die Wirkelemente **679**, **681** und **683** gegeben, welche dadurch in einer die Aberrationen des Projektionsobjektivs **605** verkleinernden Weise auf die optischen Elemente **673**, **675** und **677** einwirken.

[0138] Im Sinne eines Regelkreises, d. h. eines geschlossenen Kreises, werden diese Schritte solange wiederholt bis das Signal **686** dem Signal **687** entspricht, d. h. das Projekti-

BNSDOCID: <DE__10109929A1_I_>

onsobjektiv **605** die gewünschten Abbildungseigenschaften aufweist.

[0139] Es ist aber auch möglich, die Anordnung **602** im Sinne einer Aberationssteuerung, d. h. eines offenen Kreises, unter Verzicht auf Rückkopplungsschleifen zu betreiben.

[0140] Dafür ist es vorteilhaft, daß die Vorrichtung **601** die Wellenfronten im gesamten Bildfeld des Projektionsobjektivs **605** parallel für eine große Zahl von Feldpunkten erfassen kann. Daraus kann die Feldverteilung der Aberrationen berechnet werden. Aus dieser Feldverteilung der Aberrationen werden die von den Wirkelementen beeinflußbaren Aberationskomponenten bestimmt und mit geeigneten Verfahren, z. B. auf optischen Berechnungen zum Projektionsobjektiv beruhenden Variationstabellen, werden dann die Stellgrößen für die Wirkelemente berechnet.

Patentansprüche

1. Vorrichtung (**1**) zur Wellenfronterfassung mit einer Wellenfrontquelle (**7**) zur Erzeugung einer Wellenfront (**9**),
einem der Wellenfrontquelle (**7**) nachgeordneten Beugungsgitter (**11**)
und einem dem Beugungsgitter (**11**) nachgeordneten ortsauflösenden Detektor (**19**), **dadurch gekennzeichnet**, daß die Wellenfrontquelle (**7**) eine zweidimensionale Struktur aufweist.

2. Vorrichtung (**1**) nach Anspruch 1, wobei die Wellenfrontquelle (**7**) eine Beleuchtungsmaske (**8**; **8'**; **8"**) mit örtlich variierender Transmission umfaßt.

3. Vorrichtung (**1**) nach Anspruch 2, wobei die Beleuchtungsmaske (**8"**) eine rotationssymmetrische Transmissionsverteilung aufweist.

4. Vorrichtung (**1**) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Wellenfrontquelle (**7**) eine Lochmaske (**8**; **8'**; **8"**) umfaßt.

5. Vorrichtung (**1**) nach Anspruch 4, wobei die Lochmaske (**8**; **8'**) eine Mehrzahl in periodisch angeordneter Öffnungen (**51**, **53**; **51'**, **53'**) aufweist.

6. Vorrichtung (**1**) nach Anspruch 5, wobei die Lochmaske (**8**; **8'**) eine Mehrzahl in vierzähliger Symmetrie angeordneter Öffnungen (**51**, **53**; **51'**, **53'**) aufweist.

7. Vorrichtung (**1**) nach Anspruch 5, wobei die Lochmaske (**8'"**) eine Mehrzahl in dreizähliger Symmetrie angeordneter Öffnungen (**57**) aufweist.

8. Vorrichtung (**1**) nach einem der Ansprüche 1 bis 7 mit einem Beleuchtungssystem, wobei die Beleuchtungsmaske (**8**; **8**; **8"**) zwischen dem Beleuchtungssystem und dem Beugungsgitter (**11**) angeordnet ist und zwischen dem Beleuchtungssystem und der Beleuchtungsmaske (**8**; **8'**; **8"**) eine streuende Fläche (**6**; **6'**) angeordnet ist.

9. Vorrichtung (**1**) nach Anspruch 8, wobei das Beleuchtungssystem einen Lichtleiter (**29**; **29'**) umfaßt.

10. Vorrichtung (**1**) nach Anspruch 9, wobei der Lichtleiter (**29**; **29'**) ein Multimode-Lichtleiter ist.

11. Vorrichtung (**1**) nach Anspruch 9 oder 10, wobei die Beleuchtungsmaske (**8**; **8**; **8"**) mit dem Lichtleiter (**29**) verbunden ist.

12. Vorrichtung (**1**) nach einem der Ansprüche 8 bis 10, wobei der Beleuchtungsmaske (**8**; **8'**; **8"**) eine Optik (**30**; **30**; **430**; **530**; **630**) zugeordnet ist, welche einfallendes Beleuchtungslicht zur Beleuchtungsmaske (**8**; **8'**; **8"**; **408**; **508**; **608**) hin konzentriert.

13. Vorrichtung (**1**) nach einem der Ansprüche 1 bis 12,, wobei die Wellenfrontquelle ein Mikrolinsensystem (**30"**) aufweist, das mindestens eine Mikrolinsenplatte (**31"**) mit mindestens einer an der Mikrolinsenplatte ausgebildeten refraktiven oder diffraktiven Mikrolinse (**32"**) umfaßt.

14. Vorrichtung (**1**) nach Anspruch 13, wobei das Mikrolinsensystem (**30"**) einen Stapel mit mehreren Mikrolinsenplatten (**31"**) aufweist, die mit axialem Abstand zueinander angeordnet sind.

15. Vorrichtung (**1**) nach einem der Ansprüche 13 oder 14, wobei eine Mikrolinsenplatte (**31"**) eine eindimensionale oder zweidimensionale Array-Anordnung mit einer Mehrzahl von Mikrolinsen (**32"**) aufweist.

16. Vorrichtung (**1**) nach einem der Ansprüche 13 bis 15, wobei in das Mikrolinsensystem (**30"**) eine Korrektureinrichtung (**40"**) zur Korrektur der Intensitätsverteilung der durchtretenden Strahlung integriert ist.

17. Vorrichtung (**1**) nach einem der Ansprüche 1 bis 16, wobei die Wellenfrontquelle mindestens eine Korrektureinrichtung (**40"**) zur Korrektur der Intensitätsverteilung durchtretender Strahlung aufweist.

18. Vorrichtung (**1**) nach Anspruch 16 oder 17, wobei die Korrektureinrichtung (**40"**) mindestens einen Graufilter (**41"**) aufweist, der im Bereich einer Pupillenebene (**33"**) der Wellenfrontquelle angeordnet ist.

19. Vorrichtung (**1**) nach einem der Ansprüche 16 bis 18, wobei die Korrektureinrichtung (**40"**) derart ausgelegt ist, daß eine Intensitätsverteilung mit zum Rande eines Beleuchtungsfeldes zunehmender Intensität erzeugt wird.

20. Vorrichtung (**1**) nach einem der Ansprüche 16 bis 19, wobei die Korrektureinrichtung (**40"**) variabel einstellbar ist.

21. Vorrichtung (**1**) nach einem der Ansprüche 16 bis 20, wobei die durch die Korrektureinrichtung (**40"**) bewirkte Korrektur der Intensitätsverteilung an die Aufnahmecharakteristik des ortsauflösenden Detektors zur Optimierung der Detektionsdynamik des ortsauflösenden Detektors angepaßt ist.

22. Vorrichtung (**1**) nach einem der Ansprüche 1 bis 21, wobei das Beugungsgitter (**11**) in Abhängigkeit von der Struktur der Wellenfrontquelle (**7**) derart ausgebildet ist, daß zur Interferenz am Beugungsgitter (**11**) nur bestimmte Beugungsordnungen beitragen.

23. Vorrichtung (**1**) nach einem der Ansprüche 1 bis 22, wobei das Beugungsgitter (**11**) in unterschiedlichen Periodizitätsrichtungen jeweils eine beugende periodische Struktur aufweist.

24. Vorrichtung (**1**) nach Anspruch 23, wobei das Beugungsgitter (**11**) zwei zueinander orthogonale Periodizitätsrichtungen aufweist.

25. Vorrichtung (**1**) nach Anspruch 24, wobei das Beugungsgitter ein Kreuzgitter (**11'**) ist.

26. Vorrichtung (**1**) nach Anspruch 24, wobei das Beugungsgitter (**11**) ein Schachbrettgitter (**55**) ist.

27. Vorrichtung (**1**) nach Anspruch 23, wobei das Beugungsgitter (**11'"**) drei jeweils paarweise einen Winkel von 120° einschließende Periodizitätsrichtungen aufweist.

28. Vorrichtung (**1**) nach Anspruch 27, wobei das Beugungsgitter ein Dreiecksgitter (**11'"**) ist.

29. Vorrichtung (**1**) nach einem der Ansprüche 1 bis 28, wobei das Beugungsgitter ein Gitter mit örtlich stetig variierender Transmission ist.

30. Vorrichtung (**1**) nach Anspruch 29, wobei das Beugungsgitter ein Sinusgitter ist.

31. Vorrichtung (**1**) nach einem der Ansprüche 1 bis 30, wobei das Beugungsgitter (**11**) ein Phasengitter ist.

32. Vorrichtung (**1**) nach einem der Ansprüche 1 bis 31, wobei das Beugungsgitter (**11"**) ein in unterschied-

BNSDOCID: <DE__10109929A1_I_>

lichen Periodizitätsrichtungen jeweils eine beugende periodische Struktur aufweisendes Gitter (**58**) und ein zu diesem koplanares Liniengitter (**59**) umfaßt.

33. Vorrichtung (**1**) nach einem der Ansprüche 1 bis 32, wobei zwischen der Wellenfrontquelle (**7**) und dem Beugungsgitter (**11**) ein die Wellenfront (**9**) umformendes optisches System (**5**) angeordnet ist und wobei die Wellenfrontquelle (**7**) in einer Objektebene (**3**) des optischen Systems (**5**) und das Beugungsgitter (**11**) in einer zur Objektebene (**3**) konjugierten Bildebene des optischen Systems (**5**) liegt.

34. Vorrichtung (**1**) nach Anspruch 21 und einem der Ansprüche 1 bis 33, wobei dem Beugungsgitter (**11**) ein Translationsmodul (**37**) zur Verschiebung des Beugungsgitters (**11**) in den unterschiedlichen Periodizitätsrichtungen zugeordnet ist.

35. Vorrichtung (**1**) nach einem der Ansprüche 1 bis 34, wobei der Wellenfrontquelle (**7**) ein Verschiebungsmodul (**31**) zugeordnet ist, welches die Wellenfrontquelle (**7**) in der Objektebene (**3**) verschiebt.

36. Vorrichtung (**1**) nach Anspruch 35, wobei das Verschiebungsmodul (**31**) bei einer Verschiebung der Wellenfrontquelle (**7**) in der Objektebene (**3**) auch den Detektor (**19**) parallel zur Bildebene verschiebt.

37. Vorrichtung (**1**; **301**) nach einem der Ansprüche 1 bis 36, wobei der Detektor (**19**; **319**) eine strahlungssensitive Sensorfläche (**20**; **320**) und ein zwischen dem Beugungsgitter (**11**; **311**) und der Sensorfläche (**20**; **320**) angeordnetes Abbildungssystem (**22**; **322**) umfaßt.

38. Vorrichtung (**1**; **301**) nach Anspruch 37, wobei das Abbildungssystem (**22**; **322**) im Hinblick auf die Abbesche Sinusbedingung korrigiert ist.

39. Vorrichtung (**1**; **301**) nach Anspruch 37 oder 38, wobei das Abbildungssystem (**22**; **322**) telezentrisch ist.

40. Vorrichtung (**1**) nach einem der Ansprüche 1 bis 39, wobei zwischen einer Strahlungsquelle (**43**) und der Wellenfrontquelle (**7**) ein erster Strahlteiler (**45**) zum Auskoppeln eines Teils der die Wellenfrontquelle (**7**) versorgenden Strahlung angeordnet ist und ein zweiter, dem Beugungsgitter (**11**) nachgeordneter Strahlteiler (**47**) den vom ersten Strahlteiler (**45**) ausgekoppelten Strahlungsanteil zur Sensorfläche (**20**) lenkt.

41. Vorrichtung (**1**) nach Anspruch 40, wobei ein Referenzlichtleiter (**49**) den vom ersten Strahlteiler (**45**) ausgekoppelten Strahlungsanteil zum zweiten Strahlteiler (**47**) transportiert.

42. Vorrichtung (**101**; **201**; **301**; **401**) nach einem der Ansprüche 1 bis 41, wobei der Detektor (**119**; **219**; **319**; **419**) eine Sekundärstrahlerfläche (**161**; **261**; **361**; **461**) umfaßt.

43. Vorrichtung (**101**; **201**; **401**) nach einem der Ansprüche 1 bis 42, wobei der Detektor () eine Mehrzahl von Lichtleitern (**160**; **260**; **460**) umfaßt.

44. Vorrichtung (**101**; **301**; **401**) zur Wellenfronterfassung mit
einem von einer Wellenfront (**110**) durchsetzten Beugungsgitter (**111**; **311**; **411**)
und einem dem Beugungsgitter (**111**; **311**; **411**) nachgeordneten ortsauflösenden Detektor (**119**; **319**; **419**), dadurch gekennzeichnet, daß der Detektor (**119**; **319**; **419**) zumindest bereichsweise zum Beugungsgitter (**111**; **311**; **411**) hin gekrümmt ist.

45. Vorrichtung (**101**; **301**; **401**) nach einem der Ansprüche 1 bis 44, wobei der Detektor (**119**; **319**; **419**) zumindest bereichsweise sphärisch ist.

46. Vorrichtung (**101**; **301**; **401**) nach Anspruch 44 oder 45, wobei der Detektor (**119**; **319**; **419**) eine zwischen dem Beugungsgitter (**111**; **311**; **411**) und der strahlungssensitiven Sensorfläche (**120**; **320**; **420**) angeordnete, zumindest bereichsweise gekrümmte Sekundärstrahlerfläche (**161**; **361**; **461**) umfaßt.

47. Vorrichtung (**101**; **301**; **401**) nach Anspruch 46, wobei die Sekundärstrahlerfläche (**161**; **361**; **461**) frequenzwandelnd ist.

48. Vorrichtung (**101**; **401**) nach einem der Ansprüche 44 bis 47, wobei der Detektor (**119**; **419**) beugungsgitterseitig eine Mehrzahl von Lichtleitern (**160**; **460**) umfaßt, deren beugungsgitterseitige Lichtleiterenden auf einer Kugelkalotte angeordnet sind.

49. Vorrichtung (**101**; **301**; **401**) zur Wellenfronterfassung nach dem Oberbegriff von Anspruch 1 oder 44, dadurch gekennzeichnet, daß ein das Beugungsgitter (**111**; **311**; **411**) tragender Beugungsgitterträger (**163**; **363**; **463**) eine Sekundärstrahlerfläche (**161**; **361**; **461**) aufweist.

50. Vorrichtung (**101**; **401**) nach einem der Ansprüche 1 bis 49, wobei das Beugungsgitter (**111**; **411**) auf dem planen Oberflächenbereich einer Halbkugel (**163**; **463**) angeordnet ist.

51. Vorrichtung (**101**; **401**) nach Anspruch 50, wobei der sphärische Oberflächenbereich der Halbkugel als Sekundärstrahlerfläche (**161**; **461**) ausgebildet ist.

52. Vorrichtung (**101**; **401**) nach Anspruch 46 und nach Anspruch 50 oder 51, wobei die beugungsgitterseitigen Lichtleiterenden durch einen frequenzwandelnden Kitt mit dem sphärischen Oberflächenbereich der Halbkugel (**163**; **463**) verbunden sind.

53. Vorrichtung (**401**) nach einem der Ansprüche 1 bis 52, wobei vor dem Beugungsgitter (**411**) eine Mehrzahl von Wellenfrontquellen (**407**) angeordnet ist.

54. Vorrichtung (**401**) nach Anspruch 53, wobei der Detektor (**419**) für jede Wellenfrontquelle (**407**) eine Mehrzahl (**460**) von Lichtleitern umfaßt.

55. Vorrichtung (**401**) nach Anspruch 53 oder 54, wobei der Detektor (**419**) für jede Wellenfrontquelle eine sphärische Sekundärstrahlerfläche (**461**) umfaßt.

56. Vorrichtung (**401**) nach Anspruch 33 und einem der Ansprüche 1 bis 55, wobei das optische System (**405**) ein Projektionsobjektiv für die Mikrolithografie ist.

57. Verfahren zur Wellenfronterfassung, wobei
durch eine Wellenfrontquelle (**8**) eine Wellenfront erzeugt wird,
mit der Wellenfront und mit einem in unterschiedlichen Periodizitätsrichtungen jeweils eine beugende periodische Struktur aufweisenden Beugungsgitter (**11**) ein Interferogramm erzeugt wird
und mit einem strahlungssensitiven Detektor ein Bild des Interferogramms aufgenommen wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Wellenfrontquelle (**8**) oder das Beugungsgitter (**11**) in einer Periodizitätsrichtung um ein ganzzahliges Vielfaches der entsprechenden Gitterperiode verschoben wird.

58. Verfahren nach Anspruch 57, wobei die Wellenfrontquelle (**8**) oder das Beugungsgitter (**11**) während der Bildaufnahmezeit des Detektors um ein ganzzahliges Vielfaches der entsprechenden Gitterperiode verschoben wird.

59. Verfahren nach Anspruch 57, wobei während der Verschiebung der Wellenfrontquelle (**8**) oder des Beugungsgitters (**11**) um ein ganzzahliges Vielfaches der entsprechenden Gitterperiode eine Mehrzahl von Interferogrammbildern aufgenommen wird und zur Wellenfronterfassung die Mehrzahl von Interferogrammbil-

BNSDOCID: <DE__10109929A1_I_>

dern verwendet wird.

60. Verfahren zur Wellenfronterfassung, wobei durch eine Wellenfrontquelle (**8**) eine Wellenfront erzeugt wird und mit der Wellenfront und mit einem in unterschiedlichen Periodizitätsrichtungen jeweils eine beugende periodische Struktur aufweisenden Beugungsgitter (**11**) ein Interferogramm erzeugt wird, dadurch gekennzeichnet, daß in einem Verschiebungsschritt die Wellenfrontquelle (**8**) oder das Beugungsgitter (**11**) um einen Bruchteil der entsprechenden Gitterperiode verschoben und das resultierende Interferogramm erfaßt wird, der Verschiebungsschritt wiederholt wird und für die Wellenfronterfassung die in den einzelnen Verschiebungsschritten erfaßten Interferogramme gemittelt werden.

61. Verfahren nach Anspruch 60, wobei die Wellenfrontquelle (**8**) oder das Beugungsgitter (**11**) in einer durch vektorielle Überlagerung der unterschiedlichen Periodizitätsrichtungen definierten Richtung verschoben wird.

62. Verfahren nach Anspruch 60 oder 61, wobei der Gesamtverschiebungsbetrag der Wellenfrontquelle (**8**) oder des Beugungsgitters (**11**) kleiner oder gleich ist der Hälfte der entsprechenden Gitterperiode.

63. Anordnung (**502**; **602**) für die Mikrolithografie mit einem Projektionsobjektiv (**505**; **605**) und mit einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 56, wobei die Wellenfrontquelle (**507**; **607**) betriebsmäßig in die/aus der Objektebene des Projektionsobjektivs (**505**; **605**) bringbar/entfernbar ist.

64. Anordnung (**502**; **602**) für die Mikrolithografie mit einem Projektionsobjektiv (**505**; **605**) und mit einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 56, wobei das Beugungsgitter (**511**; **611**) betriebsmäßig in die/aus der Bildebene des Projektionsobjektivs (**505**; **605**) bringbar/entfernbar ist.

65. Anordnung (**602**) für die Mikrolithografie nach Anspruch 63 oder 64, wobei das Projektionsobjektiv (**605**) mindestens ein optisches Element (**673**, **675**, **677**) umfaßt und mindestens einem der optischen Elemente (**673**, **675**, **677**) des Projektionsobjektivs (**605**) ein Wirkelement (**679**, **681**, **683**) zugeordnet ist, mit dem die Abbildungseigenschaften des optischen Elements (**673**, **675**, **677**) veränderbar sind und welches über die Vorrichtung (**601**) zur Wellenfronterfassung steuerbar ist.

66. Anordnung (**602**) für die Mikrolithografie nach Anspruch 64, wobei eine Vergleichseinrichtung (**685**) von der Vorrichtung (**601**) zur Wellenfronterfassung abgegebene, der erfaßten Wellenfront entsprechende Signale (**686**) mit einem Sollwert (**687**) vergleicht, welcher gewünschten Abbildungseigenschaften des Projektionsobjektivs (**605**) entspricht, und wobei die Vergleichseinrichtung (**685**) Signale (**689**) zur Steuerung des Wirkelements (**679**, **681**, **683**) abgibt.

67. Anordnung (**602**) für die Mikrolithografie nach einem der Ansprüche 63 bis 66, wobei der Bereich der Wellenfrontquelle und/oder der Bereich des Beugungsgitters derart ausgebildet ist, daß er mit einem die verwendete Strahlung nicht wesentlich absorbierenden Inertgas spülbar oder mit dem Inertgas permanent umschließbar oder evakuierbar ist.

Hierzu 12 Seite(n) Zeichnungen

BNSDOCID: <DE__10109929A1_I_>

- Leerseite -

BNSDOCID: <DE__10109929A1_I_>

Nummer: DE 101 09 929 A1
Int. Cl.[7]: G 01 J 3/24
Offenlegungstag: 22. November 2001

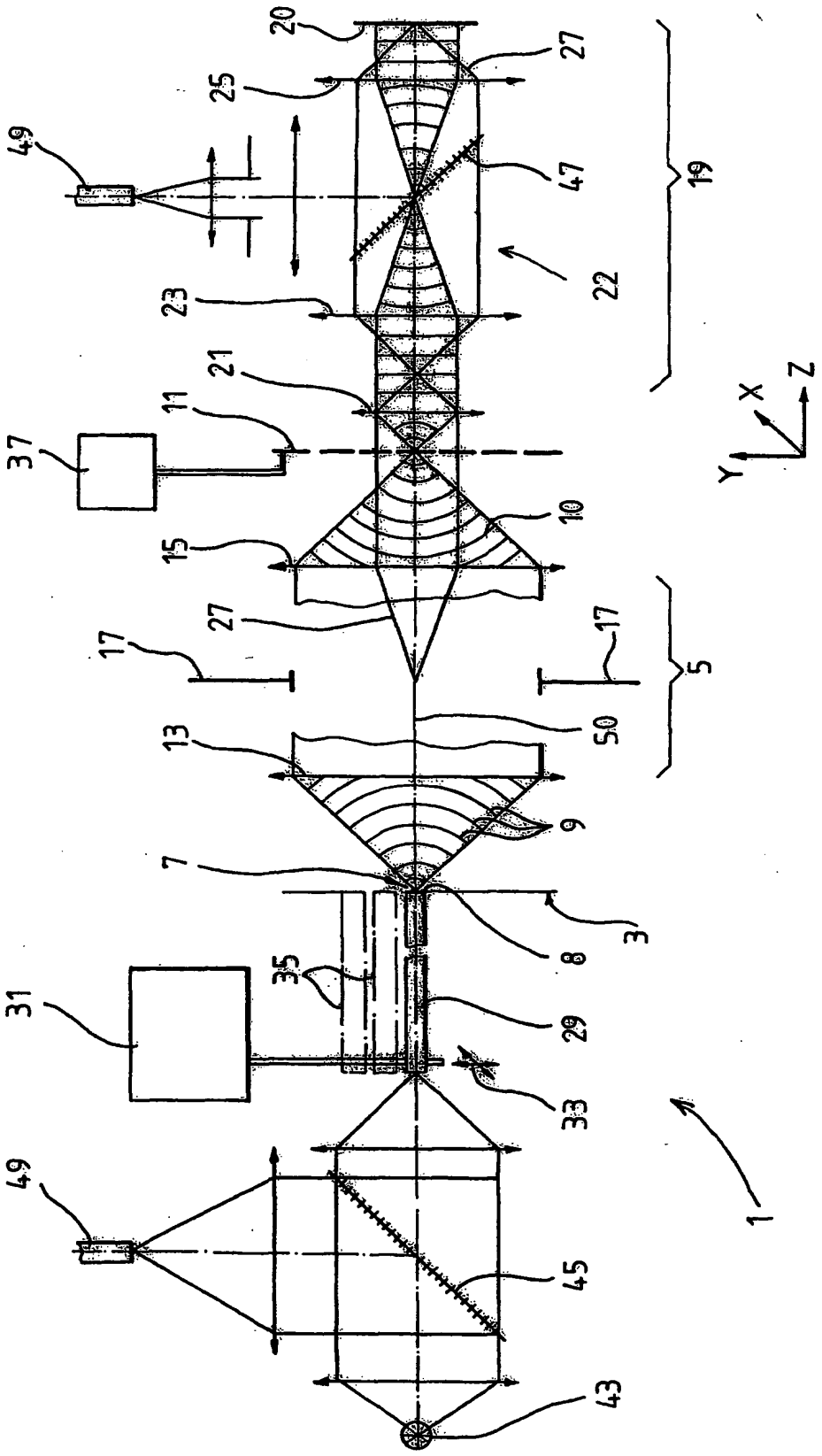


FIG. 1

BNSDOCID: <DE__10109929A1_I_>

Nummer:
Int. Cl.[7]: G 01 J 3/24
Offenlegungstag: 22. November 2001

FIG. 2

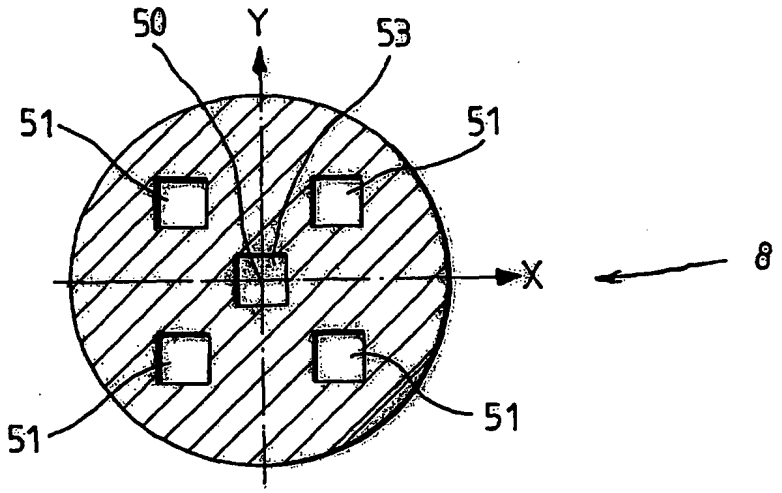


FIG. 3

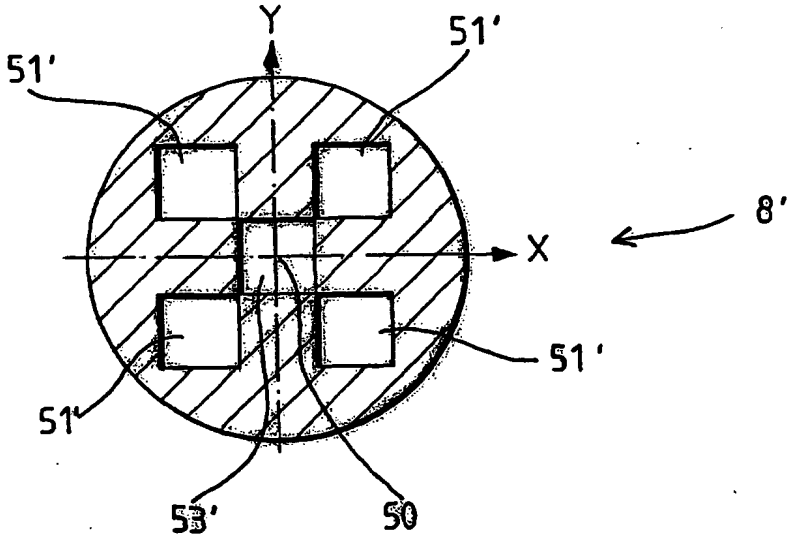
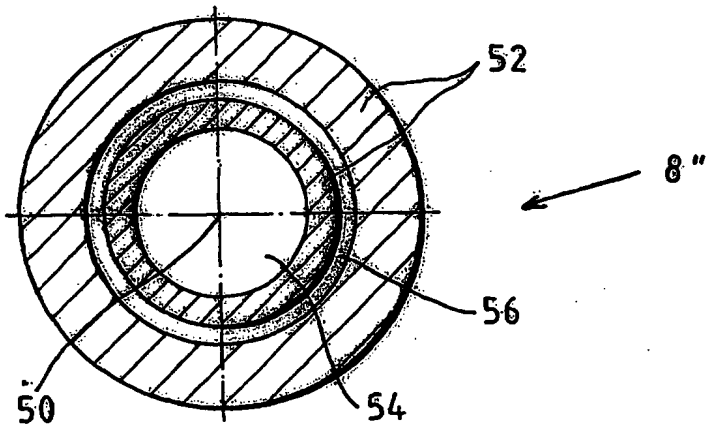


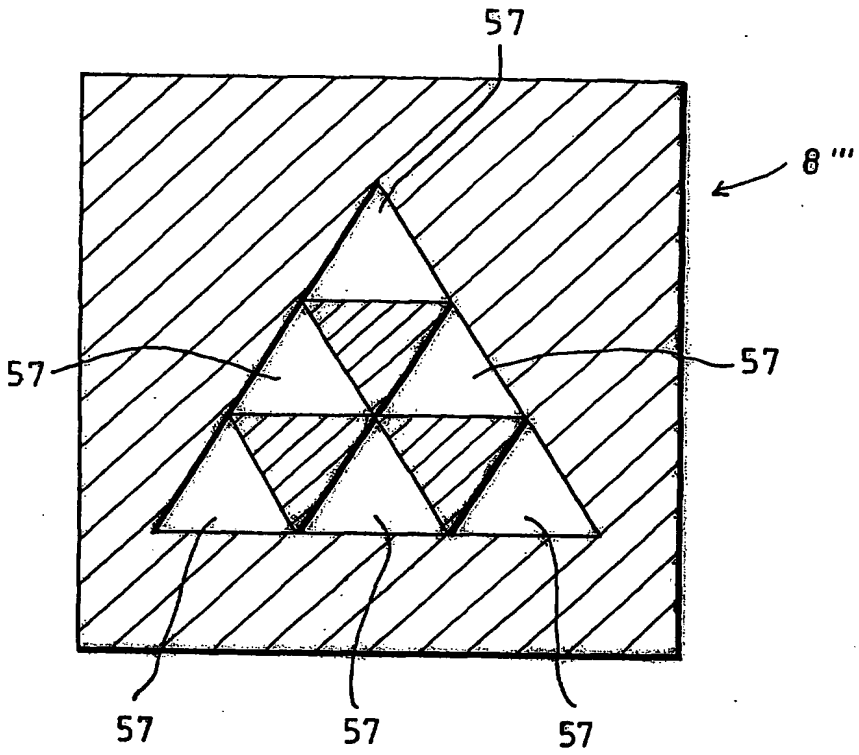
FIG. 4



BNSDOCID: <DE__10109929A1_I_>

Nummer: DE 101 09 929 A1
Int. Cl.[7]: G 01 J 3/24
Offenlegungstag: 22. November 2001

FIG. 5



BNSDOCID: <DE__10109929A1_I_>

Nummer: DE 101 09 929 A1
Int. Cl.[7]: G 01 J 3/24
Offenlegungstag: 22. November 2001

FIG. 6

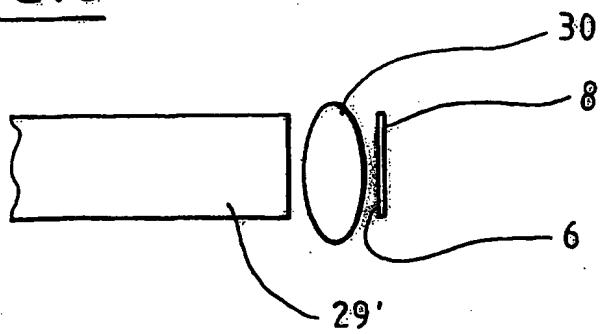
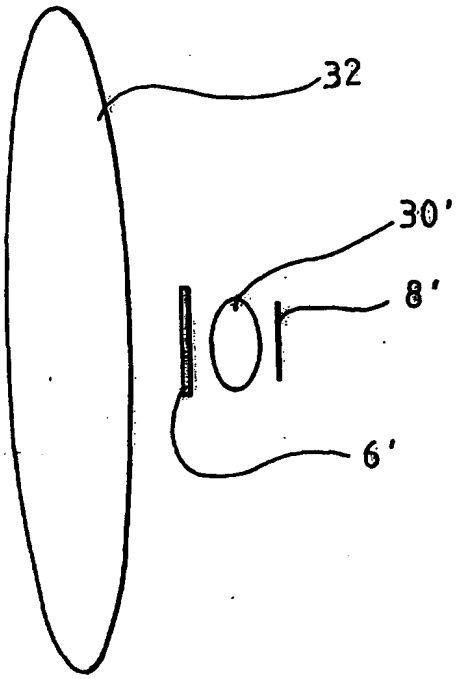


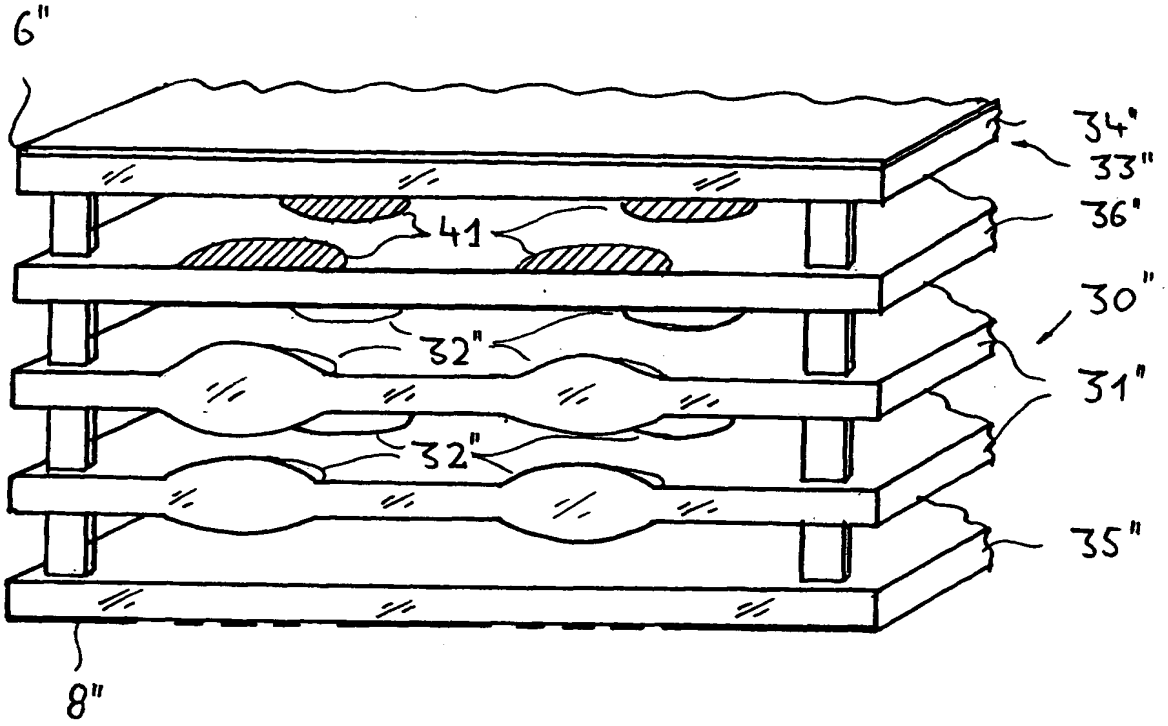
FIG. 7



BNSDOCID: <DE__10109929A1_I_>

Nummer: DE 101 09 929 A1
Int. Cl.[7]: G 01 J 3/24
Offenlegungstag: 22. November 2001

Fig. 7a



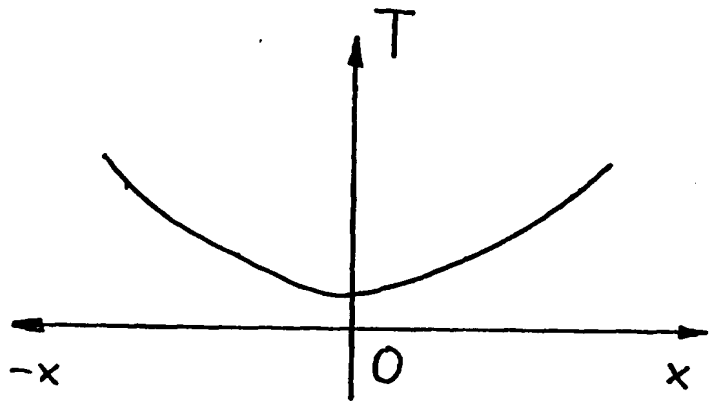


Fig. 7b

BNSDOCID: <DE__10109929A1_I_>

Nummer: DE 101 09 929 A1
Int. Cl.[7]: G 01 J 3/24
Offenlegungstag: 22. November 2001

FIG. 8

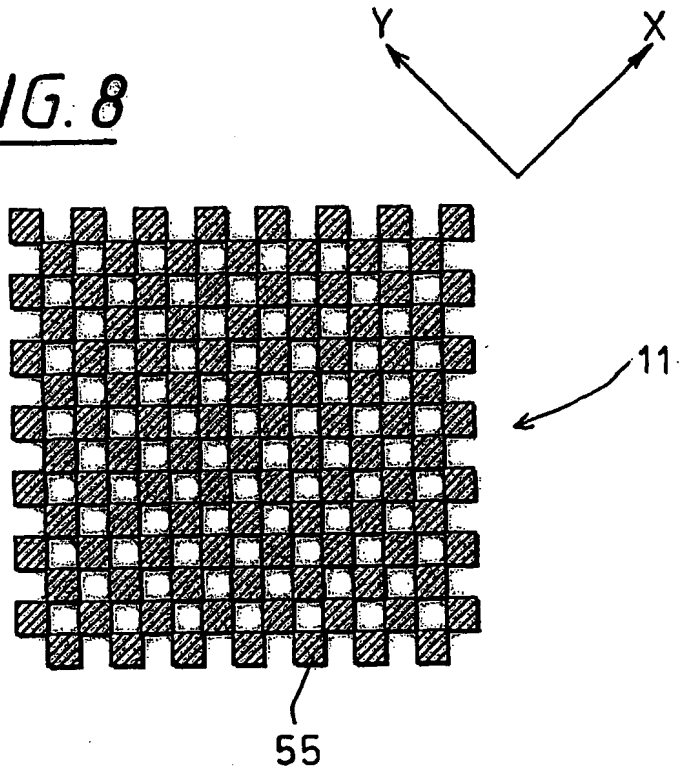
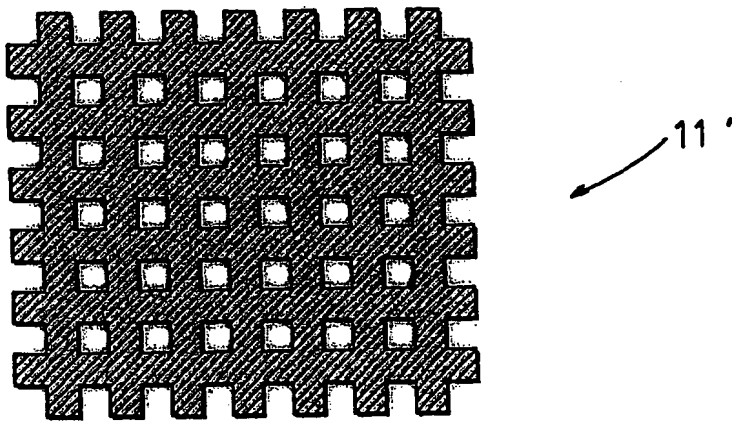


FIG. 9



BNSDOCID: <DE__10109929A1_I_>

Nummer: DE 101 09 929 A1
Int. Cl.[7]: G 01 J 3/24
Offenlegungstag: 22. November 2001

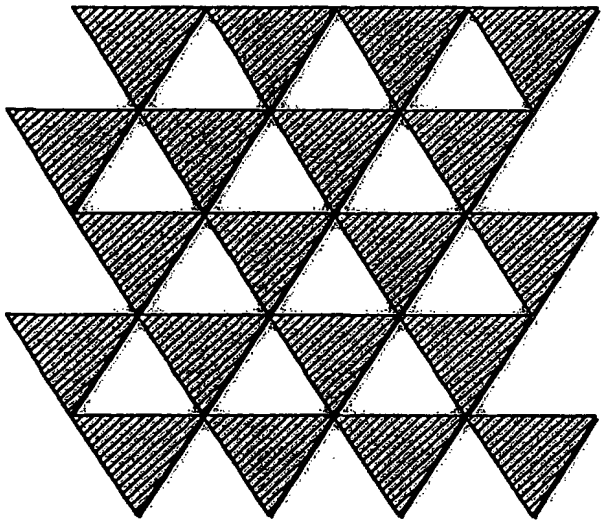


FIG.10

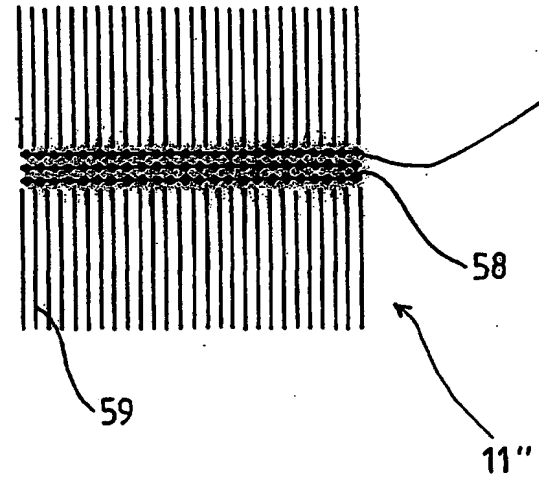


FIG.11a

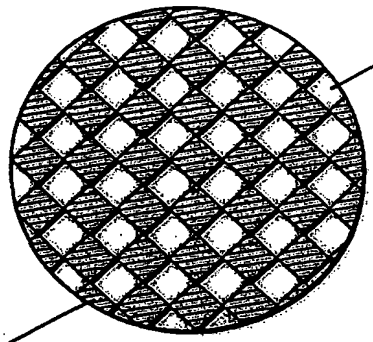
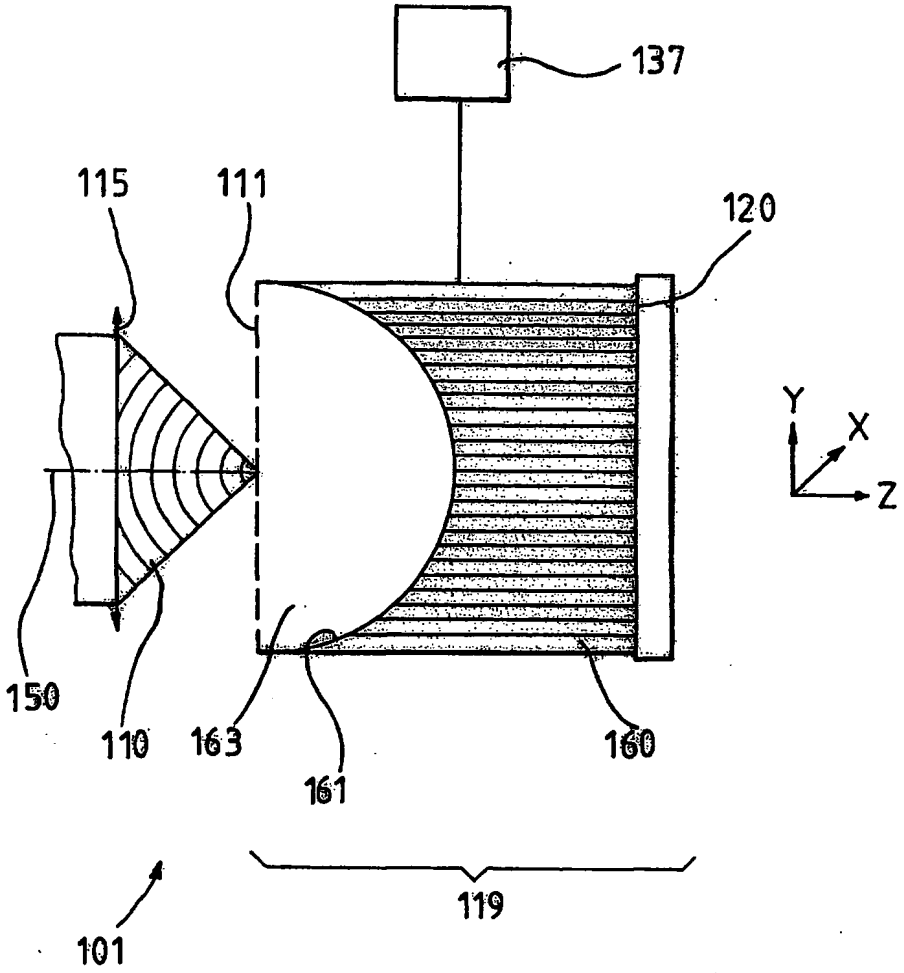


FIG.11b

BNSDOCID: <DE__10109929A1_I_>

Nummer: DE 101 09 929 A1
Int. Cl.[7]: G 01 J 3/24
Offenlegungstag: 22. November 2001

FIG.12



BNSDOCID: <DE__10109929A1_I_>

Nummer: DE 101 09 929 A1
Int. Cl.[7]: G 01 J 3/24
Offenlegungstag: 22. Nov mber 2001

FIG.13

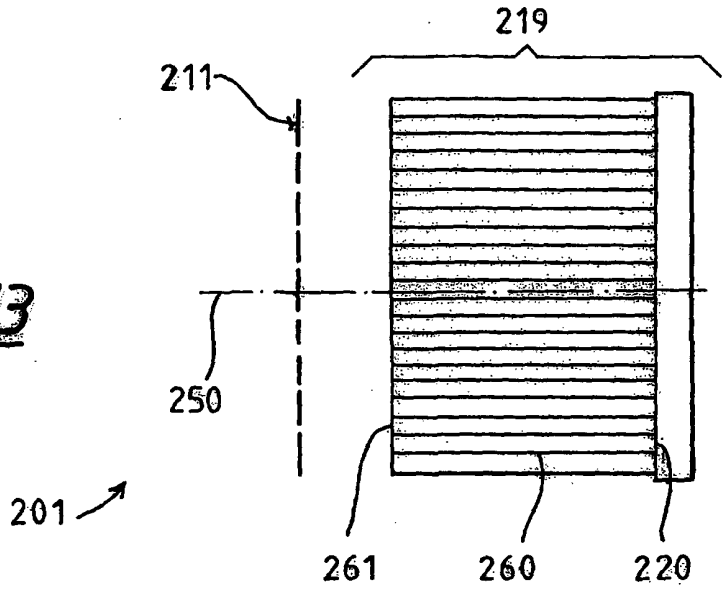
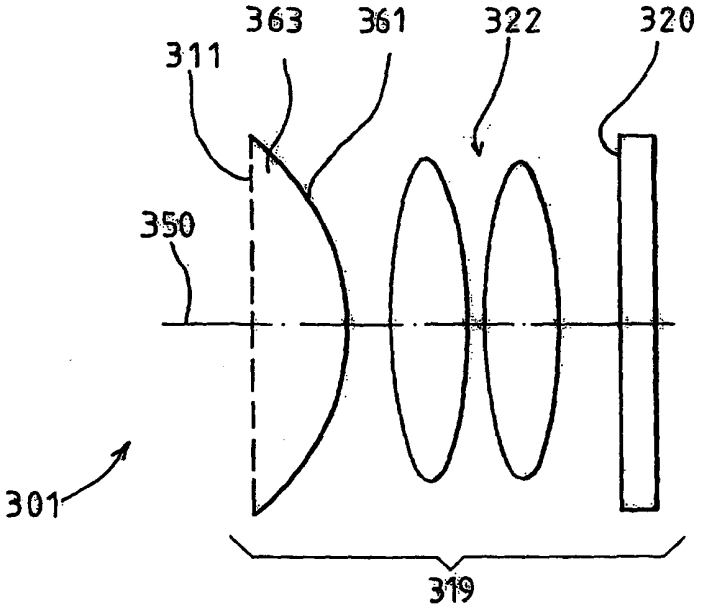


FIG. 14



BNSDOCID: <DE__10109929A1_I_>

Nummer:
Int. Cl.[7]: G 01 J 3/24
Offenlegungstag: 22. November 2001

FIG. 15

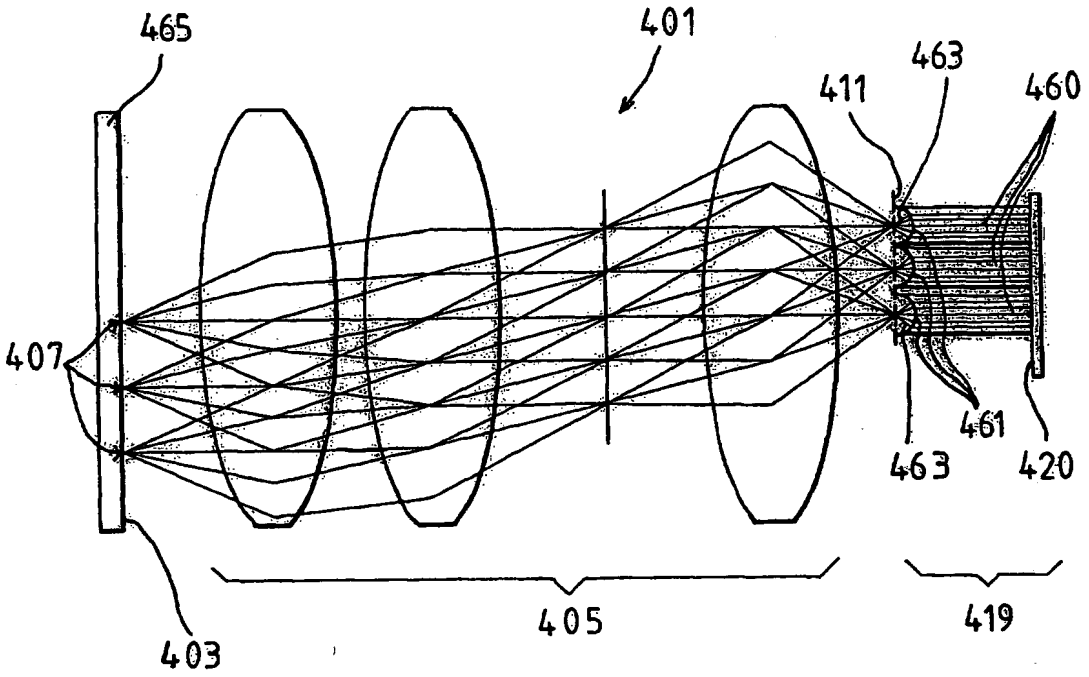
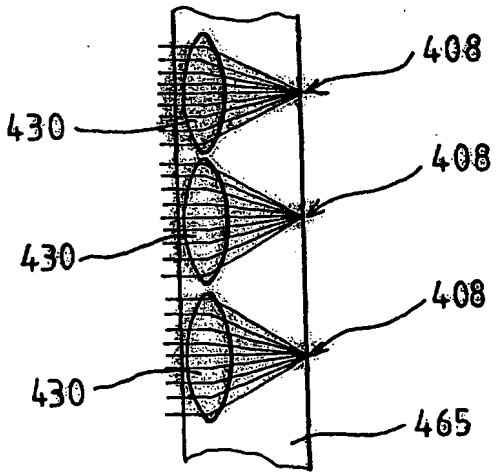


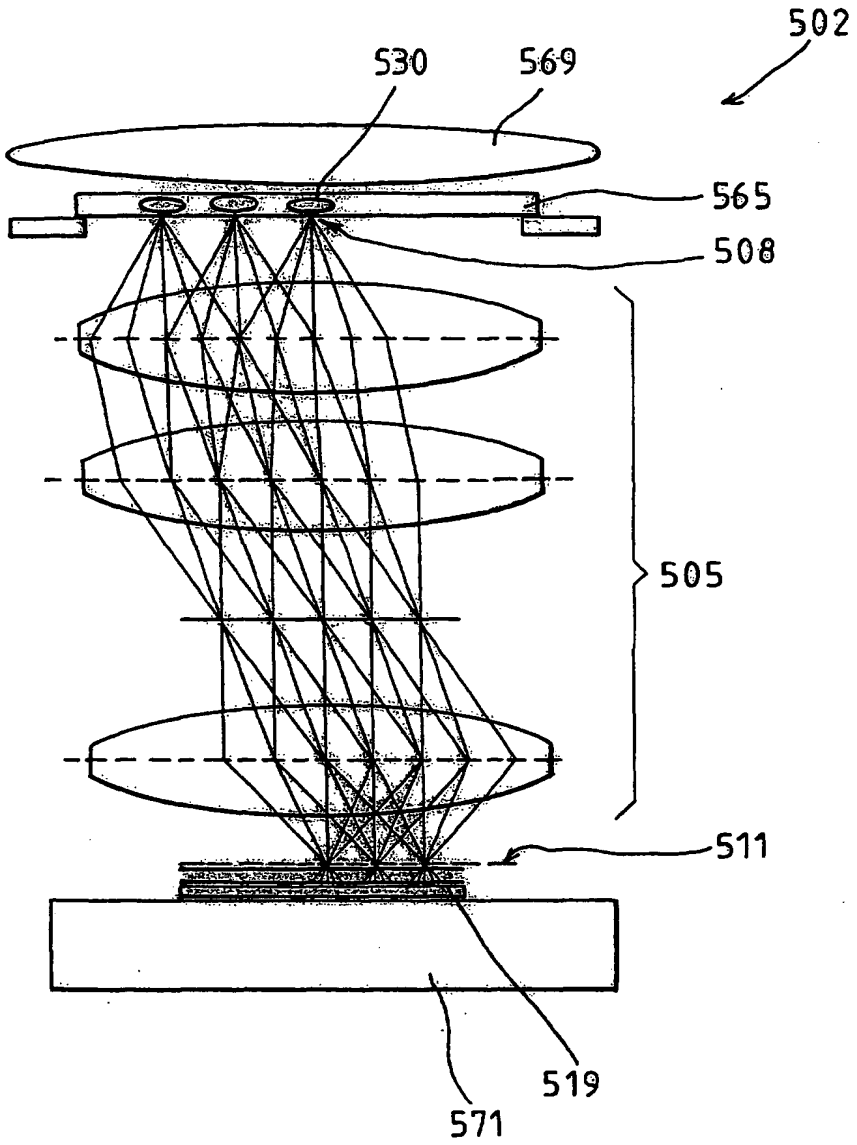
FIG. 16



BNSDOCID: <DE__10109929A1_I_>

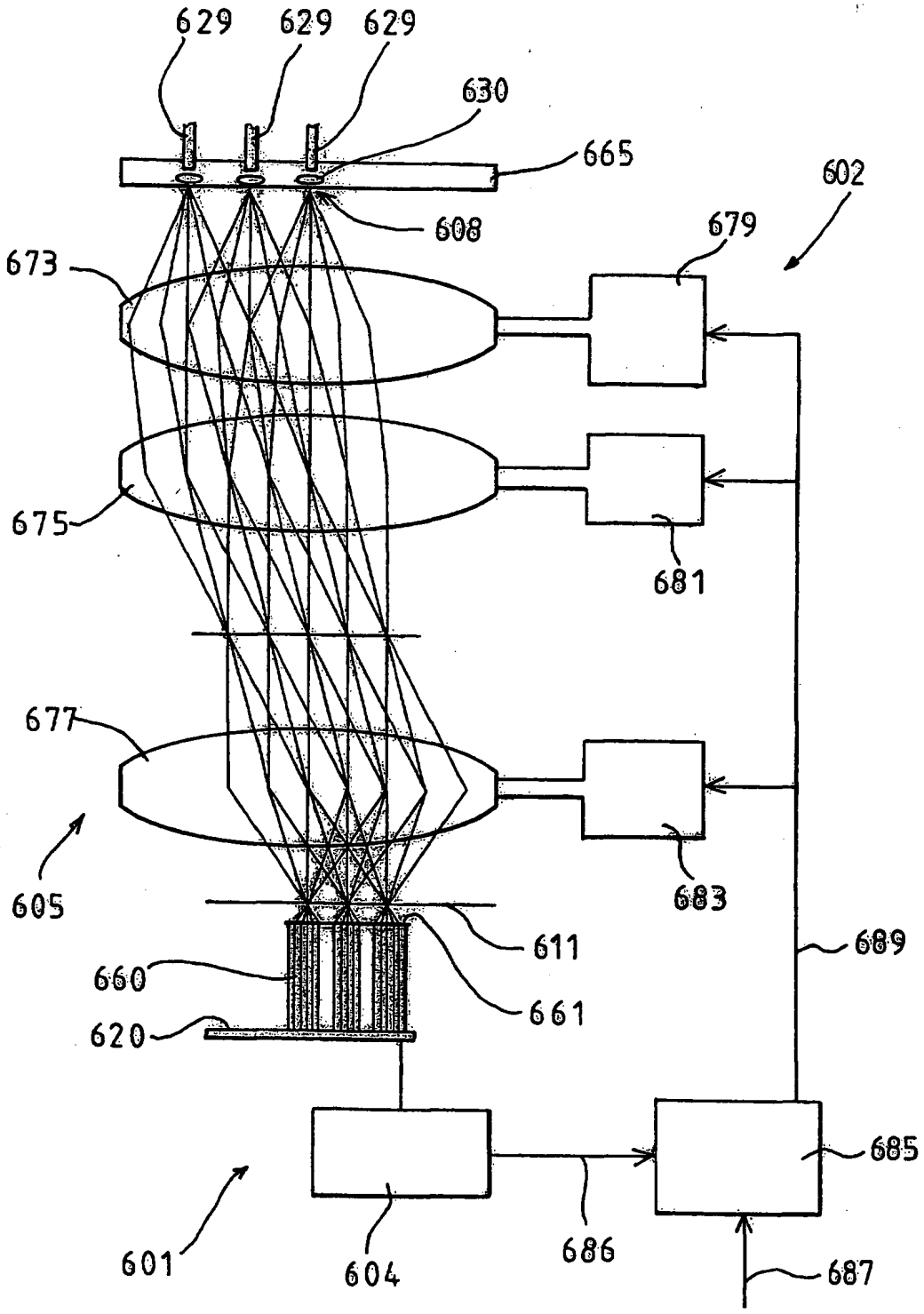
Nummer: DE 101 09 929 A1
Int. Cl.[7]: G 01 J 3/24
Offenlegungstag: 22. November 2001

FIG. 17



BNSDOCID: <DE__10109929A1_I_>

FIG 18



INVENTOR: Hans VAN DER LAAN et al.
MATTER NO.: 306135
CLIENT REF.: P-0364.010-US
FILED: September 26, 2003
TITLE: LITHOGRAPHIC APPARATUS AND A ...

PILLSBURY WINTHROP LLP
MCLEAN, VIRGINIA

BNSDOCID: <DE__10109929A1_I_>